



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV MANAGEMENTU

INSTITUTE OF MANAGEMENT

ŘÍZENÍ JAKOSTI

QUALITY MANAGEMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Jedlička

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. František Bartes, CSc.

BRNO 2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jedlička Marek, Bc.

Řízení a ekonomika podniku (6208T097)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů zadává diplomovou práci s názvem:

Řízení jakosti

v anglickém jazyce:

Quality Management

Pokyny pro vypracování:

Úvod

Cíle práce, metody a postupy zpracování

Teoretická východiska práce

Analýza současného stavu

Vlastní návrhy řešení

Závěr

Seznam použité literatury

Přílohy

Seznam odborné literatury:

BARTES, F. Jakost v podniku. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2007. ISBN 978-80-214 3362-5.

FRANKE, W. FMEA. Analýza možností vzniku vad a jejich následků. Praha: Česká společnost pro jakost, 1993. ISBN 80-02-00968-1.

FREHR, H. U. Total Quality Management. Brno: Unis publishing, 1995. ISBN 3-446-17135-5.

NENADÁL, J. a kol. Moderní systémy řízení jakosti. Praha: Management Press, 1998. ISBN 80-85943-63-8.

NENADÁL, J. Měření v systémech managementu jakosti. 2. doplněné vydání, Praha: Management Press, 2004. ISBN 80-7261-110-0.

VEBER, J. Řízení jakosti a ochrana spotřebitele. Praha: Grada Publishing, 2002. 80-247-0194-4.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. František Bartes, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/2016.

L.S.

prof. Ing. Vojtěch Koráb, Dr., MBA
Ředitel ústavu

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
Děkan fakulty

V Brně, dne 29.2.2016

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na řízení jakosti v prostředí Odštěpného závodu Industrial Turbomachinery společnosti Siemens. Na základě pověření ze strany vedení závodu a současného stavu stanovuje a řeší problém, kterým je identifikace možných příčin vzniku poruch u nového řešení zámku posledních stupňů lopatkových řad na rotoru parní turbíny. Pro vyřešení problému nejprve hledá vhodnou metodu, kterou následně aplikuje.

Abstract

The Master's thesis is focused on the quality management in Industrial Turbomachinery, a subsidiary company of Siemens. On the basis of a demand from the management and the current state the thesis defines and solves the problem, which is an identification of possible causes of failures in the new technical solution to the locking system which is a part of the last stages of the blade lines on the steam turbine rotor. To solve the problem, the thesis firstly tries to find a suitable method, which is subsequently applied.

Klíčová slova

FMEA, funkční analýza, parní turbína, řízení jakosti, Siemens

Key words

FMEA, functional analysis, quality management, Siemens, steam turbine

Bibliografická citace

JEDLIČKA, M. *Řízení jakosti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2016. 67 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. František Bartes, CSc..

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 25. května 2016

.....
podpis studenta

Poděkování

Tímto děkuji prof. Ing. Marii Jurové, CSc., která mi zprostředkovala prvotní kontakt s vedením společnosti Odštěpný závod Industrial Turbomachinery skupiny Siemens. Dále děkuji Miroslavu Palánovi, Petru Blahovi a dalším zaměstnancům společnosti Siemens, kteří si na mě udělali čas a poskytli mi odborné konzultace. A děkuji samozřejmě doc. Ing. Františku Bartesovi, CSc. za to, že moji práci vedl, stanovil jí strukturu a tým i řád.

OBSAH

ÚVOD.....	10
1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU.....	12
1.1 Popis a zhodnocení současného stavu.....	12
1.1.1 Nástin problematiky parních turbín.....	12
1.1.2 Zámkování lopatek rotorových řad.....	15
1.1.3 Technologické postupy kritických prvků zámku.....	17
1.1.4 Podmínky současného stavu.....	24
1.1.5 Zhodnocení současného stavu.....	25
1.2 Záměry závodu v následujících dvou letech.....	26
1.2.1 Obecné záměry závodu.....	26
1.2.2 Přispění oddělení kvality k záměrům.....	27
1.3 Definice problému diplomové práce.....	27
2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA ŘEŠENÍ.....	29
2.1 Popis možných metod řešení problému.....	29
2.1.1 Metoda FMEA (Failure Mode and Effects Analysis).....	29
2.1.2 Metoda FTA (Fault Tree Analysis).....	30
2.2 Vyhodnocení a výběr.....	31
2.3 Podrobný postup aplikace vybrané metody.....	32
2.3.1 Funkční analýza.....	32
2.3.2 DFMEA.....	33
3 ŘEŠENÍ.....	36
3.1 Aplikace funkční analýzy.....	36
3.1.1 Nadřazené systémy.....	36
3.1.2 Objekt řešení.....	38
3.1.3 Podrobnější rozdělení objektu řešení.....	40
3.2 Aplikace metody DFMEA.....	44
3.2.1 Zámková lopatka.....	45

3.2.2	Závitové šrouby	52
3.2.3	Závity	55
ZÁVĚR		58
SHRNUTÍ		60
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		63
SEZNAM OBRÁZKŮ		65
SEZNAM TABULEK		65
SEZNAM PŘÍLOH		67

ÚVOD

Téma diplomové práce mi bylo svěřeno ze strany brněnského závodu na výrobu a servis průmyslových parních turbín společnosti Siemens, s.r.o. Motivem pro zadání úkolu byla nečekaná, vážná technická vada, která se stala při odstředování rotoru parní turbíny. Obecnou příčinou vzniku této vady bylo zvýšení provozních otáček při standardním technickém řešení zámku poslední řady lopatek na rotoru. Vedení společnosti na situaci reagovalo novým technickým řešením uvedeného zámku. Mou osobu pověřilo tím, abych diplomovou prací pomohl k tomu, aby u tohoto nového řešení nedocházelo k vadám na dané části stroje.

Závod na výrobu a servis průmyslových parních turbín (oficiálně Odštěpný závod Industrial Turbomachinery) je společnost, která je součástí skupiny Siemens, s.r.o. (Siemens Česká republika). Tato skupina dále spadá pod globální elektrotechnický koncern Siemens AG.

Siemens AG působí zejména v oblastech elektrifikace, automatizace a digitalizace. Konkrétně jde o:

- instalaci větrných elektráren
- výrobu paroplynových zdrojů a technologií pro přenos energie
- tvorbu řešení pro veřejnou infrastrukturu
- průmyslovou automatizaci a softwarová řešení
- výrobu zdravotnických zobrazovacích zařízení a technologií pro laboratorní diagnostiku [1]

První základní kámen byl založen před 160 lety v Německu. Dnes již globální koncern působí ve více než 200 zemích a zaměstnává cca 360 tisíc lidí [1].

Siemens, s.r.o. patří mezi největší elektrotechnické firmy v České republice. Je rozčleněna na 7 výrobních závodů a další samostatné celky. Z činností nadnárodního koncernu zastává většinu [1].

Jedná se o činnosti:

- v oblasti energetiky
- ve zdravotnictví
- v průmyslové a veřejné infrastruktuře
- v informačních technologiích [1]

Společnost působí v České republice 125 let a zaměstnává přes 9 tisíc lidí [1].

Odštěpný závod Industrial Turbomachinery se zabývá výrobou středně otáčkových průmyslových parních turbín s výkonem do 150 MW. Typickou aplikací je kombinovaná výroba elektřiny a tepla. V Brně působí přes 100 let a za tu dobu zde bylo vyrobeno více než 4 tisíce turbín. Je zde zaměstnáno cca 700 lidí. Zákazníkům nabízí komplexní přístup, který umožňuje produkt vytvořit na míru [2].

Zahrnuje v sobě:

- konstrukční řešení
- výrobu
- expedici
- montáž
- uvedení do provozu
- zaškolení personálu
- záruční i pozáruční servis [2]

Parní turbíny fungují na principu převodu energie vháněné páry na energii mechanickou pohybem rotoru. Vzniklá mechanická energie může být využita např. jako pohon generátoru, který jejím prostřednictvím vytváří elektrickou energii. Pro parní turbíny je charakteristická vysoká účinnost a spolehlivost, což z nich činí efektivní součást různých druhů energetických řešení a i to je jeden z důvodů, proč jsem se rozhodl toto téma zpracovat diplomovou prací.

1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

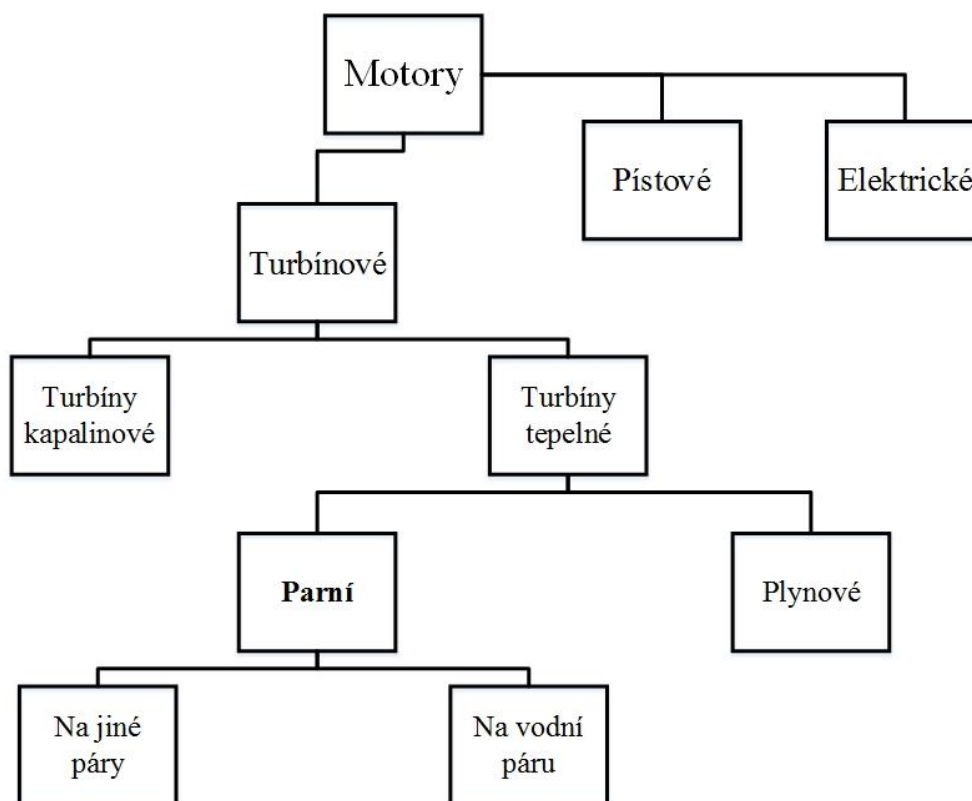
Tato kapitola je členěna do tří podkapitol. Jsou jimi: Popis současného stavu, Záměry společnosti v následujících dvou letech a Definice problému diplomové práce.

1.1 Popis a zhodnocení současného stavu

V první podkapitole nastiňuji problematiku parních turbín, popisuji standardní a nové řešení zámku poslední lopatkové řady, uvádím technologický postup kritických prvků nového řešení zámku a dále zmiňuji podmínky, které jsou pro proces vytvořeny. Na závěr provádím zhodnocení.

1.1.1 Nástin problematiky parních turbín

Parní turbíny (a tepelné turbíny obecně) patří mezi všestranně nejnáročnější energetická zařízení, jejichž konstruování je mimořádně náročným tvůrčím procesem z důvodu značně náročných a obsáhlých výpočtových, konstrukčních, technologických a provozních problémů [3]. Obrázek č. 1 znázorňuje jejich zařazení mezi motory.



Obrázek č. 1: Zařazení parních turbín [3]

❖ Konstrukční a technologická charakteristika

Mezi konstrukční a technologické vlastnosti parních turbín (a tepelných turbín obecně) patří **vysoké otáčky rotorů** v celkovém rozmezí (pro parní turbíny) od 1 500 ot/min do 24 000 ot/min. S tímto je spojena **vysoká obvodová rychlost rotoru**. Další vlastností jsou **malé radiální vůle mezi rotorem a statorem** z důvodu nízkých průtočných ztrát pracovního media, což je jedna z podmínek vysoké účinnosti. Zároveň to ale klade velké požadavky na konstruktéry a technology, jelikož vzájemný dotyk rotoru se statorem při provozu znamená poškození nebo i havárii stroje. **Veliká hmotnost rotorů**, dosahující několika desítek až stovek tun, spoluvytváří při provozu značně velkou kinetickou energii, která se projevuje např. dlouhým doběhem soustrojí, ale i destruktivním charakterem havárií. **Radiální a axiální tepelné dilatace** způsobují vysoké teploty pracovního media, které bývají až o několik set stupňů vyšší (nebo nižší) než teploty montážní. S dilatacemi je nutné počítat při stanovování radiálních a axiálních vůlí. **Nestacionární (nestabilní) provozní stavy** znamenají změny provozních veličin. Jedná se např. o změnu hmotnostních průtoků, tlaků a teplot pracovních médií atd., což má opět za následek zvýšené nebezpečí poruchy. Dále jsou charakteristická **složitá a vysoká napětí v materiálu důležitých částí**, což jsou především: lopatky, rotor, skříň, ložiska a regulační orgány. Výpočty těchto napětí jsou značně složité a často dosahují krajních hodnot přípustnosti. **Tečení materiálů vystavených vysokým teplotám a napětím** je řešeno speciální povrchovou úpravou postižených částí. Přesto dochází k trvalému tečení za provozu, což vyžaduje stanovení maximálních přípustných teplot pracovního media a konstrukce chladicího systému. Další charakteristikou je **rozmanitost technických parametrů**, jež je dáno výrobou uživateli na míru. **Různorodost součástí a funkčních celků** nemá u jiných výrobků obdoby. Jsou využívány téměř všechny možnosti technologie a metalurgie [3].

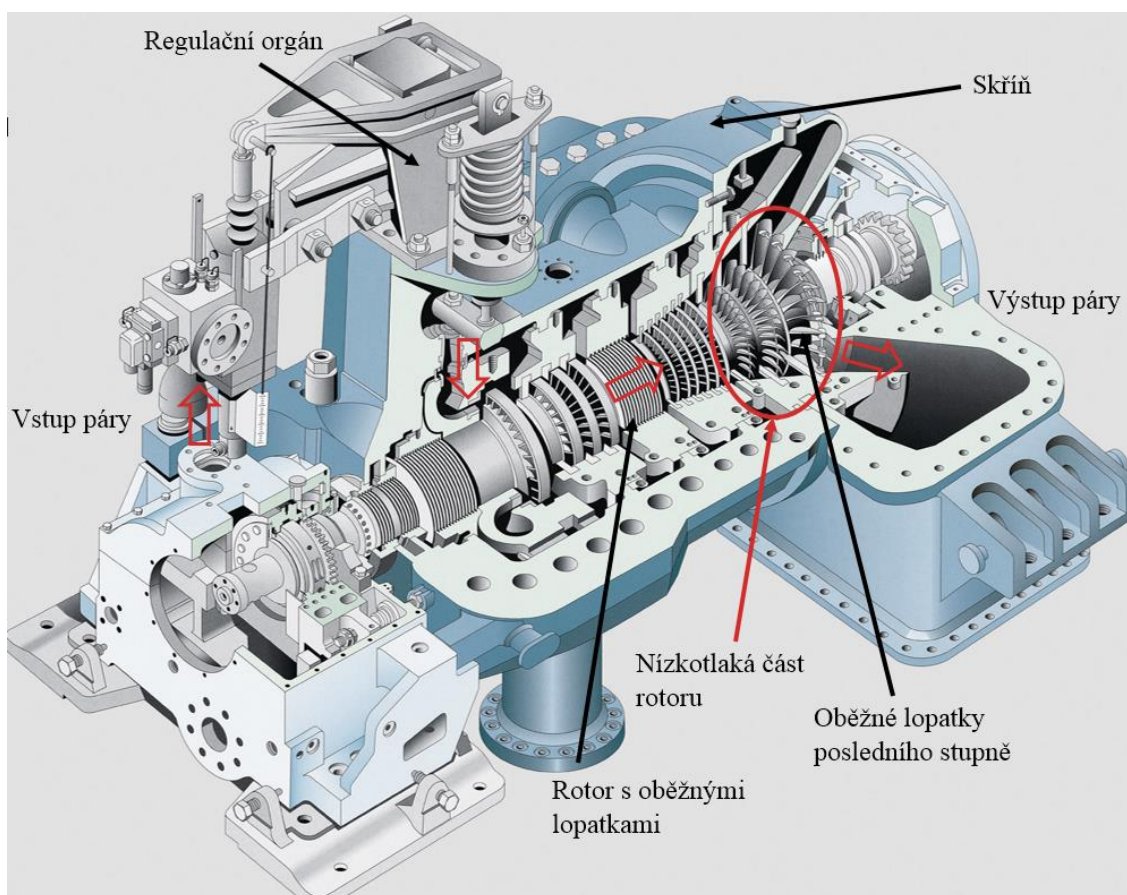
❖ Provozní charakteristika

Mezi hlavní požadované provozní vlastnosti patří v první řadě **provozní spolehlivost**, což je schopnost soustrojí plnit během stanovené doby požadované funkce při zachování provozních parametrů. Další je **provozní bezpečnost**. Zařízení musí splňovat řadu norem a předpisů [3].

Provozní životnost je požadována v rozmezí 25 až 30 let. Provozní vlastnost je velmi ovlivněna provozní hmotou, jejíž charakteristiky jako chemické složení, fyzikální vlastnosti a čistota je předepisována výrobcem. Turbinou protékají kvanta provozních hmot, která se postupně nanášejí, usazují a způsobují korozi a erozi průtočných částí, což často vede k poruchám [3].

❖ Lopatkování

Lopatkování tvoří hlavní část průtočného systému turbíny. Průtočný systém začíná na vstupu pracovního media (páry) do turbíny. Medium proudí regulačním orgánem do rozváděcích (statorových) lopatek prvního stupně a postupuje axiálně dál až k oběžným (rotorovým) lopatkám posledního stupně a odtud ven z turbíny [3]. Tento odstavec ilustruje obrázek č. 2.



Obrázek č. 2: Parní turbína řady SST-800 [4]

V rozváděcích kanálech vzniká kinetická energie expanzí proudící páry a rozváděcí lopatky mediu udávají přesnou rychlost a výstupní úhel. V oběžných kanálech dochází

k předání kinetické energie na činné plochy oběžných lopatek, které přenášejí vzniklé síly do rotoru a vyvozují jeho otáčivý pohyb. Ten vytváří užitný krouticí moment [3].

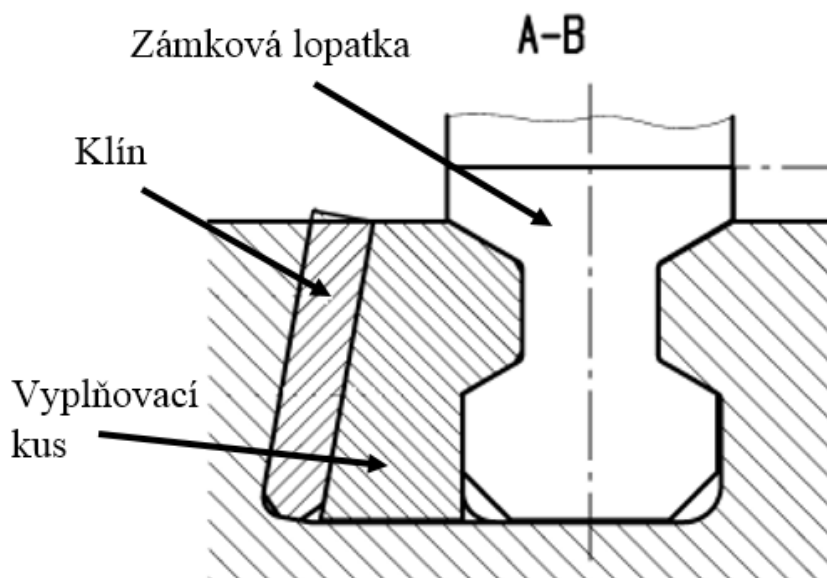
1.1.2 Zámkování lopatek rotorových řad

Zámkování (uzavírání) oběžných lopatek je jedna z nejdůležitějších problematik parních turbín. Lopatky se do řady zasouvají jedním otvorem v rotorové drážce, kterou je nutné s posledním kusem určitým způsobem uzamknout [5].

❖ Standardní způsob zámku

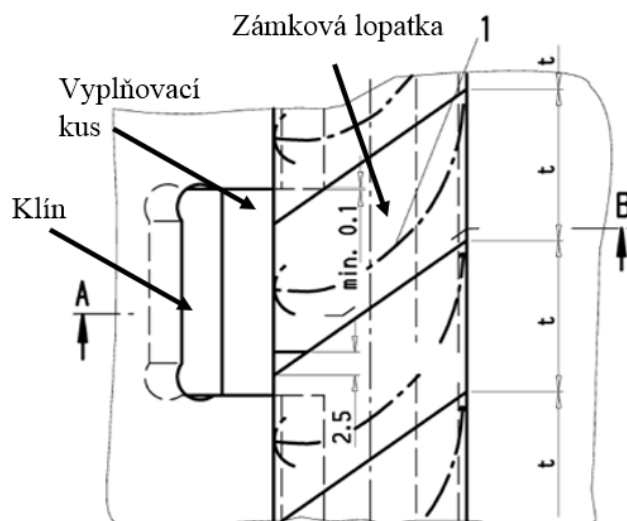
Výrobní závod společnosti Siemens v Brně používal k zámkování řad lopatek standardní způsob, který spočívá v zaklínění vyplňovacího kusu rotorové drážky s přesahem. Přesah znamená, že výplň a klín jsou v kontaktu nejen se zámkovou lopatkou, ale i se sousedními lopatkami z každé strany. Klín ještě bývá pojištěn šrouby [5].

Zámková část je tedy tvořena třemi lopatkami, vyplňovacím kusem a klínem a šrouby. Viz obrázek č. 3 a 4.



Obrázek č. 3: Standardní provedení zámku [10]

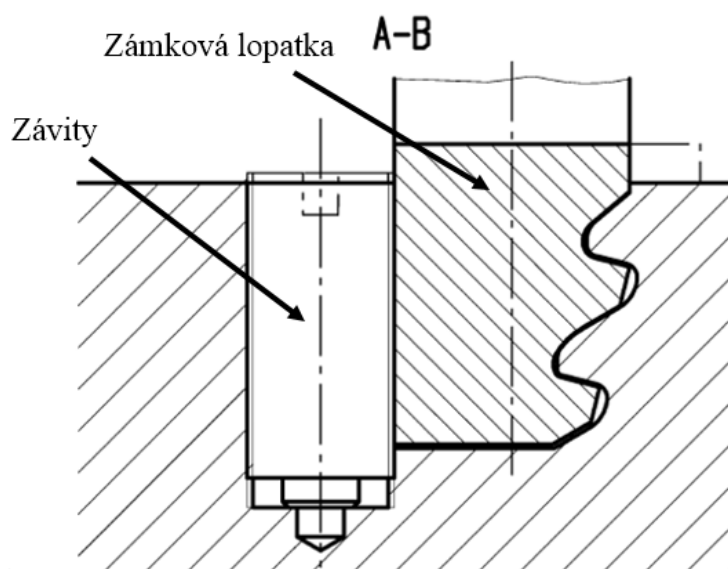
Tento způsob se neosvědčil při provozních otáčkách vyšších než 3 000 ot/min, kdy vlivem odstředivé síly došlo k povysunutí dílu zámku poslední lopatkové řady rotoru. Havárii bylo zabráněno automatickým přerušením běhu turbíny [5].



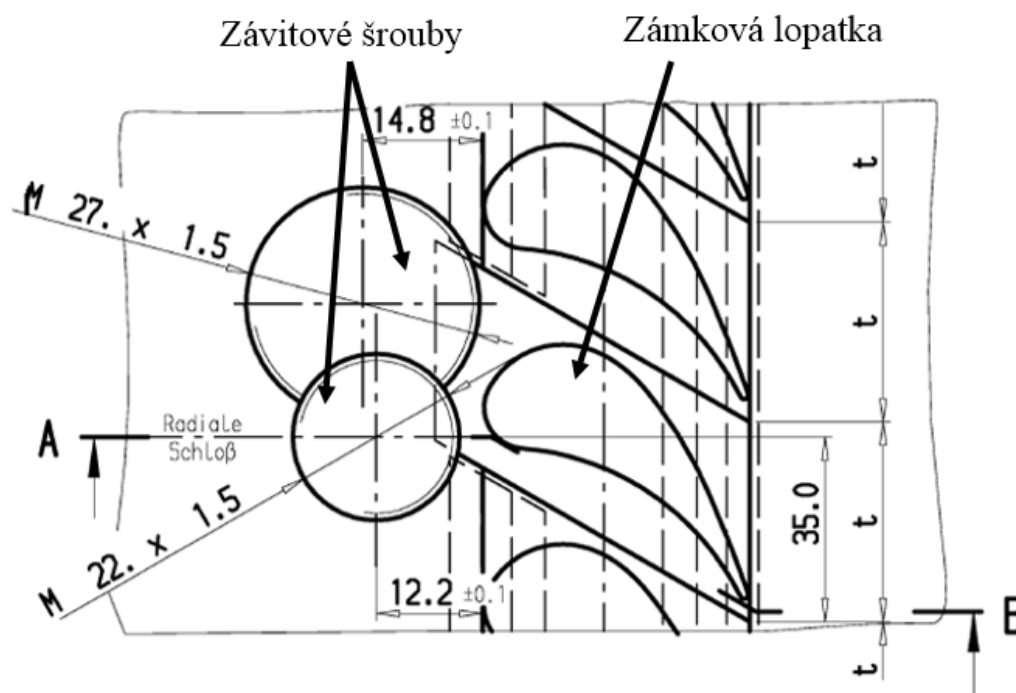
Obrázek č. 4: Standardní provedení zámku – přesah [10]

❖ Nový způsob zámku

Pro turbíny s provozními otáčkami vyššími než 3 000 ot/min je v posledních stupních oběžných lopatek používán nový způsob zámku. Ten spočívá v tom, že dva závitové šrouby jsou zašroubovány do sebe navzájem a zároveň do těla rotoru a do závěsu zámkové lopatky. **Tažné plochy všech těchto částí drží zámek pohromadě.** Závitové šrouby bez šroubů představují otvor, umožňující montáž lopatek. Závitové šrouby pak slouží také jako výplň tohoto prostoru. Toto řešení tedy neobsahuje volné části [6]. Viz obrázek č. 5 a 6.



Obrázek č. 5: Nové provedení zámku 1 [11]



Obrázek č. 6: Nové provedení zámku 2 [11]

Zámková část je v tomto případě tvořena **zámkovou lopatkou, závitovými šrouby a závit**. Lopatky napříč lopatkovými řadami se liší tvarem i velikostí, přičemž obecně platí, že směrem od vstupu media jejich velikost roste. Stejně tak se zvětšují průměry a délka závitových šroubů a velikost pro ně vytvořených závitů.

1.1.3 Technologické postupy kritických prvků zámku

Všechny části zámku nového provedení jsou kritickými prvky. To znamená, že jsou významně důležité pro jeho funkčnost [6]. Pro každý z nich jsem tedy uznal za vhodné uvést technologický postup.

❖ Technologický postup zámkové lopatky

Zámková lopatka je zpočátku vyráběna společně s ostatními oběžnými lopatkami řady. Od páté operace je její technologický postup samostatný. Materiál pro lopatky je společný, jedná se o vysoce legovanou žárupevnou a žáruvzdornou ocel, doplněnou o chrom, molybden a vanad [7].

Technologickému postupu předchází naskladnění tohoto materiálu v určitých dávkách a časových rozmezích do skladu materiálu v Odštěpném závodě Industrial

Turbomachinery z kontingenčního skladu, který je veden dodavatelem a nachází se mimo samotný závod. Materiálu je přiřazen atest (písemné osvědčení) o chemických a mechanických vlastnostech [7].

Tabulka č. 1: Technologický postup zámkové lopatky [7]

Číslo operace	Středisko	Čas přípravný [min]	Čas strojní [min]
Popis operace			
1	Řídicí středisko	-	-
Kontrola, zda byl vybrán správný materiál. Přenesení atestových značek do průvodky. Pozn.: Řídicí středisko zodpovídá za celý proces výroby. Každá operace musí být potvrzena povolaným pracovníkem (datum, jméno, podpis).			
2	Sklad	-	-
Vyskladnění materiálu do řezárny.			
3	Řezárna	9,50	14,50
Ověření atestu, zda nedošlo k záměně materiálu. Nařezání materiálu na délku. Označení čela každého kusu krycí značkou atestu. Kontrola prvního kusu. Stroj: Pásová pila PEGAS			
4	Vstupní kontrola	-	-
Přenesení atestu materiálu do průvodky pro každý nařezaný kus.			
5	Obrobna	80,00	90,00
Frézování závěsu lopatky. Kontrola prvního kusu a každého prvního kusu po výměně nástroje. Pozn.: Od této operace probíhá výroba zámkové lopatky samostatně, jelikož rozdíl mezi zámkovou lopatkou a ostatními oběžnými lopatkami řady je právě v závěsu. Závěs nezámkových lopatek je z obou stran opracován pro zasunutí do rotorové drážky. Závěs zámkové lopatky je zasunut do drážky rotoru pouze z jedné strany. Z druhé strany je držen zámkem. Časy jsou uvedeny pro jeden kus. Stroj: 4osé frézovací centrum STARRAG HECKERT			

6	Obrobna	90,00	87,00
Frézování listu lopatky. Kontrola prvního kusu a každého prvního kusu po výměně nástroje. Pozn.: Obrábění probíhá dvěma vřeteny, což přináší časovou úsporu i vyšší přesnost. Stroj: frézovací CNC stroj LIECHTI			
7	Kontrola	25	6
Tři souřadnicové měření dle elektronického modelu s přesností 0,005 mm. Stroj: 3D souřadnicový měřicí přístroj WENZEL			
8	Brusírna	15,00	10,00
Broušení závěsu včetně odjehlení (očištění obrobku). Kontrola prvního kusu. Stroj: Rovinná bruska CHEVALIER			
9	Brusírna	10,00	100,00
Broušení listu včetně odjehlení. Kontrola prvního kusu. Stroj: Brousící stroj LOESER			
10	Brusírna	10,00	22,00
Broušení přechodu mezi závěsem a listem včetně odjehlení. Kontrola prvního kusu. Stroj: Brousící stroj LOESER			
11	Brusírna	10,00	9,00
Broušení otvoru tlumícího drátu. Pozn.: Prováděno ručně.			
12	Svařovna	34,00	17,00
Kalení vstupní hrany listu lopatky plamenem. Kontrola prvního kusu, kontrola tvrdosti zakalené vrstvy. Pozn.: Důvodem kalení je zpomalení erozních účinků pracovního media na lopatku.			
13	Svařovna - pece	50,00	8,06
Popuštění lopatek. Kontrola prvního kusu. Pozn.: Popouštěním se snižuje vnitřní pnutí materiálu. Stroj: Elektrická komorová pec REALISTIC			
14	Kontrola	-	-
Kontrola tvrdosti. Stroj: tvrdoměr VICKERS			

15	Kontrola - defektoskopie	-	-
<p>Elektromagnetická zkouška všech kusů dle EN 10228-1, st. 4. Vystavení protokolu.</p> <p>Pozn.: Defektoskopie je nedestruktivní testování. V tomto případě ověřuje, zda při tepelném zpracování nevznikly trhliny. Prováděno ručně.</p>			
16	Kontrola	-	-
<p>Konečná rozměrová kontrola. Ověření atestu materiálu.</p> <p>Pozn.: Je měřen každý pátý kus. Pokud měřený kus nesplňuje požadavky, dochází k měření všech kusů.</p> <p>Stroj: 3D souřadnicový měřicí přístroj WENZEL</p>			
17	Kontrola	-	-
<p>Kontrola hmotností všech lopatek na momentové váze. Očíslování lopatek elektrickým perem na netažnou plochu závěsu. Váhy a čísla lopatek jsou zapsány do protokolu.</p> <p>Pozn.: Mezi jednotlivými lopatkami řady jsou hmotnostní rozdíly v řádech gramů. Lopatky tak jsou podle své hmotnosti programem seřazeny tak, aby vyvážení rotoru bylo co nejjednodušší.</p>			
18	Kontrola	-	-
<p>Konečná kontrola počtu kusů, provedení a potvrzení jednotlivých operací.</p> <p>Pozn.: Odtud jsou lopatky přesunuty přímo k montérům lopatek nebo do meziskladu hotových výrobků.</p>			

❖ Technologický postup závitových šroubů

Materiál pro závitové šrouby je stejný jako pro lopatky. Materiálu je přiřazen atest (písemné osvědčení) o chemických a mechanických vlastnostech [8].

Tabulka č. 2: Technologický postup závitových šroubů [8]

Číslo operace	Středisko	Čas přípravný [min]	Čas strojní [min]
Popis operace			
1	Řídicí středisko	-	-
Kontrola, zda byl vybrán správný materiál. Přenesení atestových značek do průvodky. Pozn.: Řídicí středisko zodpovídá za celý proces výroby. Každá operace musí být potvrzena povolaným pracovníkem (datum, jméno, podpis).			
2	Sklad	-	-
Vyskladnění materiálu do řezárny.			
3	Řezárna	10,00	4,00
Ověření atestu, zda nedošlo k záměně materiálu. Nařezání materiálu na délku. Kontrola prvního kusu. Stroj: Pásová pila PEGAS			
4	Vstupní kontrola	-	-
Přenesení atestu materiálu do průvodky pro každý nařezaný kus.			
5	Drobné dílce	40,50	30,00
Soustružení vodících otvorů, čela a osazení šroubů. Kontrola. Pozn.: Kontrola probíhá zašroubováním po celé délce do kontrolního etalonu. Pokud jej nelze po celé délce zašroubovat, uvolňuje se z výroby. Stroj: Soustružnické centrum MAZAK			
6	Drobné dílce	13,50	4,50
Frézování drážky šroubů. Stroj: 3osá fréza TOS Kuřim			
7	Drobné dílce	2,70	3,60
Označení dna každého kusu krycí značkou atestu.			
8	Drobné dílce	4,50	1,80
Celkové odjehlení.			

9	Kontrola	-	-
Konečná kontrola rozměrů, počtu kusů, provedení a potvrzení jednotlivých operací. Pozn.: Odtud jsou závitové šrouby přesunuty přímo k montérům lopatek nebo do meziskladu hotových výrobků.			

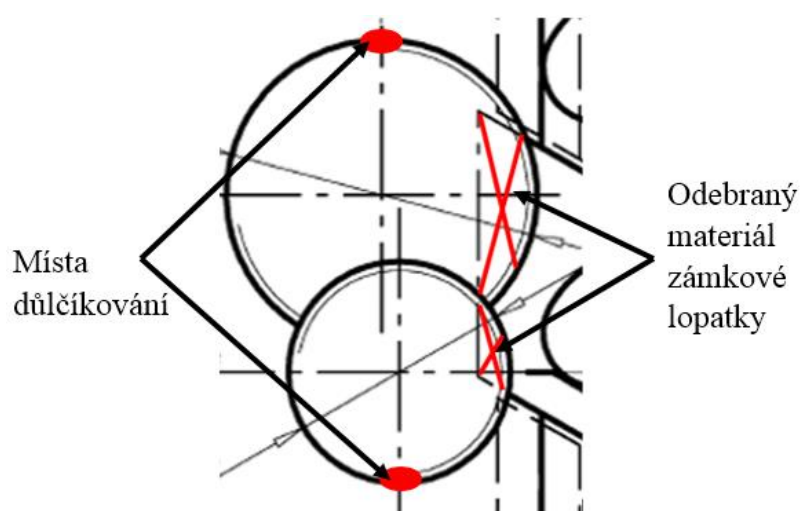
❖ Technologický postup závitů

Tento postup v sobě zahrnuje montáž lopatek a zámkové lopatky a závitových šroubů. Proto je logicky uveden jako poslední. Technologický postup závitu je doplněn obrázkem č. 7.

Tabulka č. 3: Technologický postup závitů [7]

Číslo operace	Středisko	Čas přípravný [min]	Čas strojní [min]
Popis operace			
1	Rýsování	-	-
Prorýsování zámků všech řad. Pozn.: V této operaci jde o to, aby zámkové řady byly napříč řadami v jedné linii, ale aby byly sousední zámkové řady vzhledem k sobě přesně posunuty a to buď o 90° nebo o 180°.			
2	Montáž	-	-
Předvrtání zámkových děr. Pozn.: Na místo děr budou ve finále závitové šrouby. Rozměr děr je proto užší a mělčí než jsou rozměry hotových závitů. Je to z toho důvodu, aby nedošlo k poškození závitů při montáži oběžných lopatek a aby v děrách byl materiál, umožňující závit vytvořit. Zároveň díry musí být dostatečně velké, aby montáž umožňovaly. Této operaci předchází výroba rotoru a jeho umístění na montáž. Stroj: Vytvářačka desková TOS Varnsdorf			
3	Montáž	-	-
Montáž oběžných lopatek včetně zámkové lopatky. Vyplnění děr pomocnými čepy.			

4	Montáž	-	-
<p>Vrtání vodících otvorů v závitu přes pomocný čep a zatažení závitového šroubu. Nejprve větší otvor a poté menší stejným způsobem.</p> <p>Pozn.: Tím, že jde o dvě spojené díry, by vrták při tvorbě závitů měl tendenci uhýbat do volného prostoru druhé díry a závit by nebyl použitelný. Použití pomocných čepů je elegantní řešení, jak se tomuto vyhnout. Vrták postupně odebírá materiál z čepu a ještě, než je zcela odebrán, odebírá materiál z rotoru a zámkové lopatky a vytváří tak závity, aniž by uhýbal do druhé díry. Nakonec prohloubí dno díry. U menší díry jsou navíc vytvořeny vodící otvory závitů ve větším šroubu, který je při vrtání již na místě.</p>			
5	Obrobna	-	-
<p>Napojení závitových šroubů na tvar rotoru soustružením přes zámkový čep.</p> <p>Pozn.: Šrouby většinou po zatažení drobně přesahují přes tělo rotoru. Je třeba je zarovnat.</p> <p>Stroj: Univerzální soustruh ŠKODA</p>			
6	Montáž	-	-
<p>Pojištění zámkových šroubů důlčikováním.</p> <p>Pozn.: Na dvou místech zámkového systému dojde k tzv. důlčikování, kdy jsou zde zničeny závity vlivem roztažení materiálu. Je zde působeno takovou silou, která deformuje materiál vytvořením důlku, který jej roztáhne. Zničené závity zabraňují uvolnění šroubu.</p>			



Obrázek č. 7: Detail nového provedení zámku [11]

1.1.4 Podmínky současného stavu

Pro tuto část jsem vybral z technologických postupů některé stroje, které jsem se rozhodl blíže identifikovat.

❖ Pásová pila PEGAS

Jedná se o variantu dvousloupové horizontální pily s označením: 510x510 HERKULES X-CNC. Součástí je řídicí systém, který zajišťuje automatickou regulaci posuvu do řezu s možností uložení až 99 programů. Využívá karbidových pilových pásů a je uzpůsobena pro extrémní namáhání. Po odstartování upne svěráky, provede řez dle zadaných podmínek, otevře svěráky, podavačem posune zbylý materiál do řezu a činnost opakuje [9].

❖ 4osé frézovací centrum STARRAG HECKERT

Jedná se o variantu frézovacího centra s označením: HEC 630 Athletic. Tato varianta je řazena mezi středně velké. Díky čtyřem osám je zde vysoká flexibilita obrábění a lze tak vytvořit složité obrobky. Tři osy jsou zde lineární a jedna rotační. Zajišťuje také potřebnou přesnost a spolehlivost. Upínací plocha má rozměry 630x630. Jsou zde dvě palety [9].

❖ 3D souřadnicový měřicí přístroj WENZEL

Jedná se o variantu souřadnicového měřicího přístroje s označením: CORE D, která byla přímo navržena pro měření turbínových lopatek. Je zde 5osý systém, ve kterém jsou 3 lineární a 2 rotační osy. Měření začíná upnutím lopatky a poté již následuje plně automatické bezkontaktní laserové měření dle zadaného programu, které je po pár minutách vyhodnoceno s přesností na 0,005 mm [9].

❖ Rovinná bruska CHEVALIER

Jedná se o variantu automatického brousícího stroje s označením: FSG-1640ADIII. Lopatky jsou zde uchyceny do svěráku a z jedné strany broušeny, dokud není dosaženo požadované přesnosti. Maximální rozměry pro broušení jsou 1050x405x620 mm [9].

❖ Soustružnické centrum MAZAK

Jedná se o variantu soustružnického centra s označením: INTEGREX 400-IV S. Jsou zde dvě vřetena s čtyřmi osami, které dokáží hrubý materiál rychle obrobít do podoby hotového výrobku v rámci jednoho programu. Jedná se o vysoce flexibilní stroj [9].

❖ Vyvrtávačka desková TOS Varnsdorf

Jedná se o vyvrtávačku deskovou s označením: WRD 170 Q. Je určena pro přesné souřadnicové vrtání, vyvrtávání a řezání závitů. Zejména obrobků velkých rozměrů a hmotností [12].

❖ Univerzální soustruh ŠKODA

Jedná se o univerzální hrotový soustruh s označením SR 2. Je to těžký horizontální soustruh moderní koncepce pro efektivní a přesné opracování rotačních obrobků, vybaven širokým sortimentem příslušenství a přídatných zařízení pro komplexní opracování obrobku [12].

1.1.5 Zhodnocení současného stavu

Vzhledem ke konstrukčním, technologickým a provozním charakteristikám parních turbín by nemělo být v předvýrobních, výrobních i dalších úsecích nic podceněno. Především uzamykání posledních lopatkových řad jakožto jeden z největších zdrojů možných závad a z nich plynoucích havárií by měl být podchycen opravdu pečlivě s vysokým úsilím.

Z mého pohledu k tomu odpovědný úsek Odštěpného závodu Industrial Turbomachinery požadovaným způsobem přistupuje. Technologické postupy jsou dle mého názoru pečlivě popsány a obsahují všechna potřebná data v podobě natolik přesné, kdy je dosaženo optimálního bodu, ve kterém splňují svůj informativní účel a zároveň nekomplikují pochopení a výkon jednotlivých operací. Systém kontroly je napříč technologickými postupy navržen tak, aby případná neshoda byla včas odhalena a napravena a došlo tak k zajištění požadované jakosti.

Podmínky současného stavu jsou podle mého názoru dobré. Tam, kde je to potřeba, jsou použity stroje dostatečně vysoké úrovně, zajišťující požadované vlastnosti

jimi opracovaných polotovarů. K některým operacím jsou používány i starší stroje nižší úrovně, nicméně pouze tam, kde je možné si to vzhledem k jejich výstupu dovolit (např. fréza TOS Kuřim z roku 1977). Vzhledem k tomu, že si závod přímo nevybírá, které stroje by chtěl nakoupit, ale jsou mu vybírány jinou částí globálního koncernu Siemens, tak může dojít k tomu, že některý stroj není zcela ideální. Příkladem je rovinná bruska Chevalier, která kvůli způsobu broušení může způsobovat jisté nepřesnosti.

1.2 Záměry závodu v následujících dvou letech

V druhé podkapitole uvádím nejprve záměry Odštěpného závodu Industrial Turbomachinery v následujících dvou letech v obecné rovině a poté na ně navazují tím, jak k dosažení těchto záměrů přispívá oddělení kvality.

1.2.1 Obecné záměry závodu

Obecným záměrem závodu v následujících dvou letech (a nejen v těchto letech, ale i dlouhodobě) je být i nadále preferovaným dodavatelem parních turbín špičkové úrovně. Dodávané parní turbíny mají sloužit k efektivní a ekologické výrobě elektrické energie a zároveň mají vytvářet zisk a finanční prostředky pro zajištění budoucího růstu společnosti [13].

Souběžně s tímto je záměrem závodu udržovat a rozvíjet ustanovené hodnoty společnosti. Tedy aby nebyly pouze napsány, ale aby byly především v co největší míře uplatňovány. Mezi tyto hodnoty patří dosahování spokojenosti zákazníků. Dále pak profesionální přístup napříč všemi úrovněmi, který se projevuje dodáváním správných výrobků, služeb a informací na správné místo ve správné kvalitě a ve správný čas s vynaložením optimálních nákladů. Týmová spolupráce, založená na dobrých vzájemných vztazích. Další je orientace na zaměstnance v podobě dobrých pracovních podmínek, perspektiv a správného ohodnocení. Dále pak péče o bezpečnost práce a životní prostředí, kde je snaha o trvalé zlepšování. Nadřazeno všem je dodržování právních a ostatních předpisů [14].

Investice v následujících dvou letech budou s větší pravděpodobností sloužit pouze k náhradě strojních zařízení pro zachování stejných vlastností výroby. Není tedy v plánu žádná ekonomizace strojů, jelikož k té došlo ve velkém rozsahu během posledních deseti

let a úroveň strojů v závodu je tedy na dostatečně vysoké úrovni. Určitou možností budoucího vývoje jsou expanzivní investice, zvyšující kapacitu výroby, ke kterým by došlo v případě přesunutí výroby do Brna z jiných závodů koncernu Siemens [15].

1.2.2 Přispění oddělení kvality k záměrům

V úvodu diplomové práce píší o tom, že jsem byl pověřen tím, abych svou prací pomohl k tomu, aby u nového řešení nedocházelo k vadám na dané části stroje. To znamená, že problematikou diplomové práce spadá pod útvar oddělení kvality.

Oddělení kvality přispívá k naplňování záměrů závodu dosahováním svých cílů. Jedním z cílů je snižování úrazovosti. Tento cíl je v souladu s hodnotou společnosti, uvedenou výše. A jelikož udržování a rozvoj těchto hodnot je záměrem závodu, přispívá oddělení kvality dosahováním tohoto cíle k naplňování záměru. Jednou z metod k dosažení daného cíle je program Zero Harm Culture. Jedná se o systematický přístup identifikace a odstranění zdrojů zranění. Je zde snaha dosáhnout a udržet nulový počet zranění na pracovišti. Podporou programu je sledování tzv. skoronehod, což je identifikace a odstranění zdrojů možných zranění. Jedná se o preventivní opatření. Další metodou k dosažení cíle je LOTO (Lockout/Tagout), která má za úkol zabránit náhodnému spuštění stroje nebo zařízení [16].

Dalším z cílů oddělení kvality je udržování NCC (Non Conformity Costs) na zadané hodnotě. Jedná se o náklady na neshodné výrobky a pokuty. Tento cíl souvisí jak pro každé slovo obecného záměru závodu v prvním odstavci, tak pro ustanovené hodnoty společnosti. **Je zde snaha** systematickým přístupem při používání určitých metod a nástrojů **dlouhodobě snižovat náklady na neshodné výrobky a pokuty** [16].

1.3 Definice problému diplomové práce

Ve třetí podkapitole, která je hlavním výstupem kapitoly Analýza současného stavu, vycházím ze všech, doposud zjištěných, informací. Na základě popisu a zhodnocení a záměrů závodu definuji problém diplomové práce, jehož vyřešení je jejím cílem.

Vedení Odštěpného závodu Industrial Turbomachinery mě pověřilo, abych diplomovou prací pomohl k tomu, aby u nového řešení zámku lopatkových řad nedocházelo k vadám. Vzhledem k popisu a zhodnocení současného stavu a záměrům závodu definuji

problém diplomové práce jako **identifikace možných příčin vzniku poruch u nového řešení zámku lopatkových řad. Vyřešení tohoto problému je cílem diplomové práce.**

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA ŘEŠENÍ

Tato kapitola je členěna do tří částí. Jsou jimi: Popis možných metod řešení problému, Vyhodnocení a výběr metody pro řešení problému, Podrobný postup aplikace vybrané metody.

2.1 Popis možných metod řešení problému

V první podkapitole nejprve obecně charakterizují metody, které jsem si určil jako možné způsoby pro řešení vytyčeného problému diplomové práce. Informace zde slouží jako podklad pro rozhodnutí, kterou z nich si vyberu pro řešení problému.

2.1.1 Metoda FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)

Metoda FMEA znamená v překladu analýza možností vzniku vad a jejich následků. Používá se v plánování jakosti ve třech formách. Jedná se o analýzu konstrukčního provedení, analýzu výrobního procesu a o analýzu výrobku. Cílem je identifikovat možnosti vzniku vad v různých stádiích tvorby výrobku nebo procesu, určit možné následky a ohodnotit rizika a předejít jim [17].

Analyzovaný objekt je zpravidla uceleným systémem, který je nutné rozložit na dílčí prvky – u výrobku na díly, u procesu na operace [18]. Při výpočtu rizika zohledňují:

- význam vady
- pravděpodobnost výskytu vady
- pravděpodobnost odhalení vady

Nelze samozřejmě řešit všechny vady. Je potřeba se zaměřit na ty, u kterých je rizikové číslo nejvyšší [18].

FMEA je zpravidla prováděna týmy, které jsou tvořeny zkušenými odborníky ze zúčastněných disciplín. Důležitým předpokladem úspěšné FMEA jsou zkušenosti členů týmu [19].

Typické prvky:

- funkčně orientovaný způsob myšlení a postupu
- systematický pracovní postup
- týmová práce
- využití metod kreativity
- formulace návrhů na zlepšení jakosti [17]

❖ FMEA konstrukční

FMEA konstrukční (dále jen DFMEA – Design FMEA) zkoumá všechna myslitelná a možná selhání dílčího nebo celého systému. Výchozí údaje pro DFMEA jsou funkce analyzovaného objektu v rámci systému vně a dovnitř. Návazně jsou ohodnocena konstrukční a výrobní opatření k zabezpečení jakosti [17].

❖ FMEA procesní

FMEA procesní (dále jen PFMEA – Process FMEA) navazuje na DFMEA. Jsou zde analyzovány slabá místa výrobních a montážních postupů a zařízení. Zkoumá v těchto oblastech všechny potenciální vady a jejich příčiny [17].

❖ FMEA výrobku

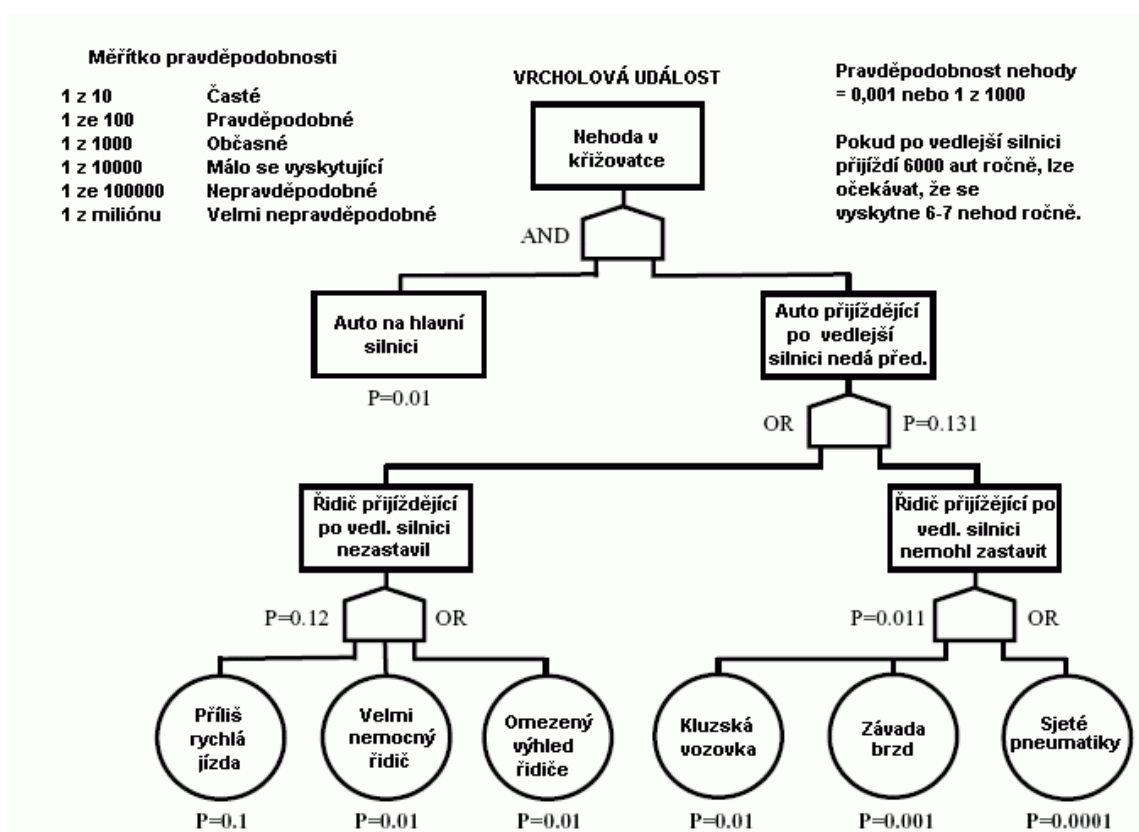
Jedná se o označení pro provedení DFMEA společně s PFMEA [17].

2.1.2 Metoda FTA (Fault Tree Analysis)

Metoda FTA znamená v překladu analýza stromu poruch. Doplnuje i konkuruje FMEA, jelikož výchozím bodem je konkrétní nejakost (možný způsob či důsledek poruchy) a význam metody je zjistit možné příčiny této nejakosti společně s podmínkami a mírou rizika [17].

Stromový diagram od vrcholové události rozkládá příčiny do jednotlivých úrovní. Každá příčina má stanovené podmínky, pro které nastane v závislosti na nastavení hradel (určují podmínky, které musí být splněny, aby příčina nastala) [18].

Dále zahrnuje identifikaci pravděpodobností, které umožňují výpočet bezporuchovosti systému za předpokladu bezporuchovosti komponentů [21].



Obrázek č. 8: Příklad stromového diagramu [20]

2.2 Vyhodnocení a výběr

V druhé podkapitole vycházím z obecných charakteristik možných metod, na jejichž základě provádím vyhodnocení a výběr.

Podle mého názoru měla metoda FTA výhodu použití po incidentu zmíněném v úvodu této práce pro původní řešení zámku. Tedy po uvedené konkrétní nejakosti, kdy mělo smysl podrobně analyzovat její možné příčiny.

Jelikož ale pracuji s novým řešením zámku, kde ještě nebyla žádná nejakost identifikována, tak **pro řešení problému diplomové práce** definovaného jako: „identifikace možných příčin vzniku poruch u nového řešení zámku lopatkových řad“, **upřednostňuji metodu DFMEA**, kde je identifikace možných příčin poruch klíčovou oblastí.

Výhodou použití metody DFMEA pro mě je určitá zkušenost s její aplikací, kterou jsem získal během studia. Dále je to možnost rozsáhleji posoudit faktory, které jsou spjaté

s možnými příčinami poruch – např. jejich důsledky či odhalení. A také považují za výhodu v rámci metody navrhopat doporučená opatření, bude-li to nutné.

2.3 Podrobný postup aplikace vybrané metody

V třetí podkapitole podrobně charakterizují podrobná teoretická východiska vybrané metody pro řešení problému diplomové práce.

2.3.1 Funkční analýza

Funkční analýzu zde zmiňují, jelikož její výstupní data jsou vstupními daty pro DFMEA.

Podstata funkční analýzy je hledání nejlepších způsobů pro plnění všech požadovaných funkcí a vyřadit funkce zbytečné (nepožadované). Výsledkem jsou návrhy možných řešení souboru funkcí, které jsou číselně označeny – souhrnná účinnost, což je vyjádření stupně plnění požadovaných funkcí [18].

Jedná se o proces, ve kterém jsou popsány funkce a jejich vztahy. Ty jsou dále systematicky charakterizovány a hodnoceny. Součástí výsledku funkční analýzy je struktura funkcí, což je uspořádání funkcí buď ve tvaru stromu či diagramu. To poskytuje znázornění např. toho, jak na sebe funkce vzájemně působí [22].

Ve funkční analýze jsou rozlišovány uživatelské a výrokové (vnitřní) funkce.

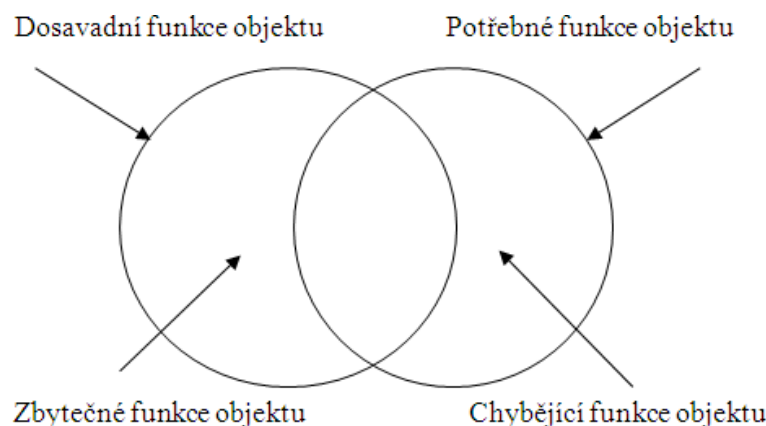
Výrokové funkce jsou dále děleny takto:

- základní funkce
- vedlejší funkce
- podpůrné funkce

Uživatelské funkce jsou prvky množiny toho, co je od výrobku očekáváno, nebo účinek výrobkem prováděný, za účelem splnění části potřeby uživatele (výrobek je pln jako celek). **Výrokové funkce** plní jednotlivé části výrobku, který je zde chápán jako relativně uzavřený systém. Pomocí výrokových funkcí je modelována funkční struktura výrobku [22].

Dále se vymezuje **hlavní funkce**, která plní úlohu reprezentace výrobku jako integrální části nadřazeného systému. Je pouze jedna a ve své definici musí zahrnovat zajištění

uživatelských i výrobních funkcí. **Základní funkce** popisují zajištění hlavní funkce z hlediska základního stupně plnění potřeb uživatelů. Jejich množina je základní koncepce řešení výrobku. **Vedlejší funkce** jsou nutným doplňkem základních funkcí. Zabezpečují požadovanou funkční/technickou úroveň řešení. Rozvíjejí stupeň plnění hlavní funkce. **Podpůrné funkce** jsou také doplňkem základních funkcí, ale od vedlejších se odlišují tím, že změna jejich koncepce zpětně neovlivňuje celkovou koncepci řešení. Níže uvedený obrázek ilustruje další možné třídění funkcí [22].



Obrázek č. 9: Třídění funkcí dle věcných hledisek [22]

Při analyzování objektů, které jsou součástí složitých technických celků je doporučeno provést nejprve funkční analýzu nadřazeného systému. Definování hlavní funkce nadřazeného systému totiž umožňuje přesněji definovat hlavní funkci objektu řešení. Ta je totiž jednou ze základních nebo z vedlejších funkcí nadřazeného systému [22].

2.3.2 DFMEA

V návaznosti na 2.1.1 popisují formulář DFMEA jako rámec pro použití metody.

Formulář DFMEA (viz příloha č. 1) slouží k dokumentaci diskuze týmu a analýze prvků DFMEA. Skládá se ze dvou částí, kterými jsou záhlaví a hlavní část. Záhlaví má za úkol identifikovat zaměření DFMEA a informace související s vypracováním a řízením dokumentu. Hlavní část obsahuje analýzu rizik vztažených k možným poruchám a k přijímaným opatřením [21].

❖ Záhlaví:

A: alfanumerický údaj pro označení a řízení dokumentu

- B: název a číslo analyzovaného systému, subsystému nebo komponenty
- C: výrobce originálního zařízení, skupina odpovědná za návrh, popř. název dodavatelské organizace
- D: předpokládaný rok výroby a program/y, které budou využívat analyzovaný návrh nebo jím budou ovlivněny (je-li to známo)
- E: datum dokončení počáteční DFMEA
- F: datum dokončení originální DFMEA a datum poslední revize
- G: členové týmu odpovědní za tvorbu DFMEA
- H: jméno a kontaktní údaje pracovníka včetně organizace/vedoucího týmu odpovědného za vypracování DFMEA [21]

❖ Hlavní část

- a: Uvádí se **objekt**, což je označení analyzovaného rozhraní či dílu na základě číslování a terminologie nebo **funkce**, která je nezbytná pro splnění záměru návrhu produktu. Případně zde mohou být uvedeny požadavky pro každou z funkcí.
- b: **Možný způsob poruchy** je způsob, jakým by analyzovaný komponent, subsystém či systém mohl při plnění uvedené funkce selhat. Uvádí se technické termíny, nikoli příznaky. Ověřování kompletnosti se může provádět ověřováním dřívějších omylů, obav, zpráv či brainstormingem.
- c: **Možné důsledky** způsobů **poruchy** z pohledu zákazníků (interních i konečných) by měly být uváděny z hlediska konkrétního systému, subsystému či komponenty, jelikož zde existuje hierarchický vztah.
- d: **Hodnota závažnosti** je hodnota reprezentující nejzávažnější důsledek daného způsobu poruchy. Hodnota je stanovena dle tabulky pro hodnocení závažnosti (viz příloha č. 2).
- e: Pro **klasifikaci** může být použita hodnota pro zdůraznění způsobů poruch s vysokou prioritou nebo jakýchkoli zvláštních charakteristik produktu.
- f: **Možné příčiny poruchy** jsou označením toho, z jakých důvodů se může porucha vyskytnout. Jedná se o něco, co je možné opravit nebo co lze řídit. Příčina by měla být popsána co nejstručněji a nejúplněji.

- g: **Výskyt** je hodnota reprezentující pravděpodobnost výskytu konkrétní příčiny poruchy. Hodnota je stanovena dle tabulky pro hodnocení výskytu (viz příloha č. 3).
- h: **Nástroje řízení pro stávající návrh produktu** označují seznamy nástrojů, kterými lze v určité míře buď zabránit výskytu příčiny poruchy – nástroje prevence, nebo je lze použít pro odhalení způsobu či příčiny poruchy – nástroje detekce.
- i: **Odhalení** je hodnota reprezentující pravděpodobnost odhalení příčiny nebo způsobu poruchy. Jedná se o ohodnocení schopností nejlepšího ze zmíněných preventivních a detekčních nástrojů. Hodnota je stanovena dle tabulky pro hodnocení výskytu (viz příloha č. 4).
- j: **RPN (Risk Priority Number)** slouží ke kvantifikaci jednotlivých možných příčin poruch a tedy i k určení priorit potřebných opatření. Nicméně obecně doporučené stanovení priorit je dle hodnoty závažnosti. Výpočet:
- $$RPN = \text{Závažnost} \cdot \text{Výskyt} \cdot \text{Odhalení}$$
- Při rozhodování o opatřeních je možné vycházet z tzv. prahové hodnoty RPN, kdy jsou hledána opatření pouze pro příčiny, jejichž hodnota RPN překračuje stanovenou prahovou hodnotu RPN.
- k: Záměrem **doporučených opatření** je snížení známky hodnocení v pořadí: závažnost, výskyt, odhalení. Přednost zde má opět prevence před detekcí.
- l: **Odpovědnost & Termín dokončení** se uvádějí pro každé doporučené opatření zvlášť.
- m: **Přijatá opatření a datum dokončení** uvádějí realitu předchozích dvou oblastí.
- n: **Závažnost, výskyt, detekce a RPN** jako kvantifikované ohodnocení výsledků opatření pro možné příčiny poruch. Údaje by měly být důsledně přezkoumány a k těmto výsledným hodnotám platí stejný přístup jako pro původní hodnoty v bodě j [21].

DFMEA by měla být chápána jako živý dokument, který je nutné přezkoumávat vždy, když dojde ke změně návrhu produktu nebo jeho aktualizaci [21].

3 ŘEŠENÍ

Tato kapitola je členěna do dvou částí. Jsou jimi: Aplikace funkční analýzy a Aplikace metody DFMEA.

3.1 Aplikace funkční analýzy

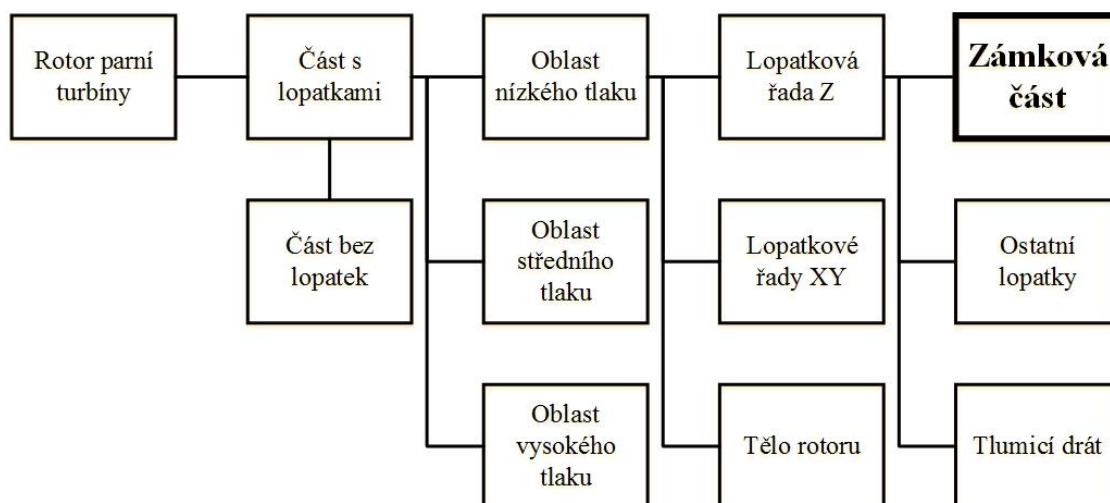
V první podkapitole provádím funkční analýzu nadřazených systémů a objektu řešení dle informací z kapitoly Teoretická východiska řešení. Výstupem podkapitoly jsou funkce objektu řešení, se kterými dále pracuji při aplikaci metody DFMEA.

3.1.1 Nadřazené systémy

Parní turbína funguje za účelem převodu tepelné energie na mechanickou. Vstupní medium dle nastavených parametrů a dle vytvořených podmínek působí na lopatky rotoru, který svým otáčením vytváří užitný krouticí moment. Ten může být využit např. jako pohon generátoru elektrické energie. Tímto je uspokojována potřeba zákazníka. **Je to tedy převod tepelné energie na mechanickou, co lze označit za hlavní funkci parní turbíny (nadřazeného systému)**, jelikož zajišťuje jak uživatelské, tak výrobní funkce.

Abych si objekt řešení – zámkovou část poslední řady lopatek – zařadil do souvislosti v rámci nadřazeného systému, vytvořil jsem graficky znázorněnou strukturu systémových prvků parní turbíny. Viz obrázek č. 10.

Začal jsem rotorem parní turbíny jakožto jednou ze základních složitých součástí parní turbíny a také jako hlavním celkem, na kterém se objekt řešení nachází. Rotor lze zjednodušeně, ale pro potřebu řešení dostatečně, dělit na část s lopatkami a část bez lopatek. Zalopatkovaná část rotoru se zpravidla dělí na tři oblasti v závislosti na vzdálenosti od vstupu pracovního media. Nejbližší u vstupu je oblast vysokého tlaku – pracovní medium je vháněno pod vysokým tlakem. Ten postupným prouděním media dál do parní turbíny klesá až do oblasti nízkého tlaku, což jsou ve struktuře poslední tři řady lopatek X, Y, Z. Je to právě poslední lopatková řada Z, na které se nachází objekt řešení. Tedy kromě zámkové části poslední lopatkové řady jsou součástí lopatkové řady ostatní lopatky a tlumicí drát.



Obrázek č. 10: Struktura systémových prvků – nad objektem

Zámková část se skládá, jak již bylo v práci uvedeno, ze zámkové lopatky, závitových šroubů a závitů. Viz obrázek č. 11.



Obrázek č. 11: Struktura systémových prvků – pod objektem

Grafické znázornění těchto struktur mi pomohlo uvědomit si, jak hlavní funkce parní turbíny prostupuje jednotlivými rozlišovacími úrovněmi až k objektu řešení. Z objektu dále prostupuje do jednoho z prvků podsystému – zámkové lopatky. Je to řetězec všech prvků na prvním řádku struktury v obrázku č. 10 a 11, pro jehož články platí, že **převod**

tepelné energie na mechanickou patří u každého mezi základní funkce. Je to tedy ve všech případech jedna ze základních koncepcí řešení výrobku.



Obrázek č. 12: Prostoupení hl. funkce parní turbíny strukturou

3.1.2 Objekt řešení

Po zkoumání systémů nadřazených objektu řešení a jejich funkční provázanosti je na čase zamyslet se nad dalšími funkcemi objektu řešení. Pro jejich obsáhnutí jsem použil intuitivní metodu otázky na důvod existence objektu, odpovědi a dalších navazujících otázek a odpovědí.

Proč zámková část existuje?

Protože mezeru v rotorové drážce je nutné nějakým způsobem uzavřít – uzamknout. Funkcí je **uzavření lopatkové řady**.

Proč mezera vznikla?

Protože umožňuje montáž lopatek. Funkcí je, že **umožňuje montáž lopatek**.

Dá se mezera využít i jinak?

Ano, lze ji využít k výměně lopatek. Funkcí je, že **umožňuje výměnu lopatek**.

Co musí mezera splňovat?

Musí splňovat parametry, které umožní udržet zámkovou lopatku ve správné poloze. Funkcí je **zajištění správné polohy zámkové lopatky**.

Proč by zámková lopatka nemusela být ve správné poloze?

Protože na ni vlivem otáčení rotoru působí dostředivé zrychlení (označováno též jako odstředivá síla) a pokud by se zámková lopatka vlivem odstředivé síly vychýlila ze správné polohy, hrozí havárie. Funkcí je, že **nese část odstředivých sil**.

Kromě odstředivých sil na ni působí také pracovní medium, které je průchodem mezi lopatkami ovlivňováno. Funkcí je, **zajišťování požadovaných výstupních parametrů media**.

Proč je zámková lopatka součástí zámku?

Protože v lopatkových řadách z důvodu vyváženosti nemůže být mezera. Zámková lopatka se spolu podílí na převodu tepelné energie na mechanickou. Funkcí je **převod tepelné energie na mechanickou**.

Získané funkce jsou uspořádány v níže uvedené tabulce.

Tabulka č. 4: Seznam funkcí zámkové části

Funkce	Hlavní	Základní	Vedlejší	Podpůrná
Uzavírá lopatkovou řadu		X		
Umožňuje montáž lopatek	X			
Umožňuje výměnu lopatek		X		
Zajišťuje správnou polohu zámkové lopatky		X		
Nese část odstředivých sil		X		
Zajišťuje požadované výstupní parametry media		X		
Převádí tepelnou energii na mechanickou		X		

Je jisté, že hlavní výrobkovou funkcí objektu je montáž lopatek, jelikož pokud by tato nebyla potřeba, zámková část by vůbec neexistovala – přináší jen komplikace.

Všechny ostatní funkce jsou funkcemi základními, jelikož jsou součástí množiny základní koncepce řešení výrobku.

Je otázkou, zda je tento výstup funkční analýzy, což je seznam funkcí zámku poslední lopatkové řady, vhodný jako vstupní data pro aplikaci metody DFMEA. Podle mého názoru vhodný není, jelikož zámek je pořad systém, který se skládá z vlastních prvků. A jako takový by mohl být metodou DFMEA obtížně postihnutelný. **Za mnohem výhodnější postup řešení považuji prvky systému zámku samostatně vyčlenit a pro každý z nich provést metodu DFMEA zvlášť.** Proto je tedy nutné každý z těchto prvků zvlášť podrobit také funkční analýze k získání vstupních dat pro DFMEA.

3.1.3 Podrobnější rozdělení objektu řešení

Pro další postup využiji provedenou funkční analýzu zámku tak, že rozdělím identifikované funkce zámku mezi jeho prvky.

❖ Zámková lopatka

Uzavírá lopatkovou řadu?

Ano, zámková lopatka je montována ve chvíli, kdy jsou všechny lopatky řady na místě a tím tedy lopatkovou řadu uzavírá.

Umožňuje montáž lopatek?

Ne, zámková lopatka při montáži lopatek nehraje roli.

Umožňuje výměnu lopatek?

Ano, je možné ji odmontovat, což umožní výměnu lopatek řady.

Zajišťuje správnou polohu zámkové lopatky?

Ne, ona sama je zámkovou lopatkou.

Nese část odstředivých sil?

Ne. Tato funkce zámku se vztahuje k zámkové lopatce v tom smyslu, že ona je prvkem, na který působí odstředivé síly a které má systém zámku za úkol nést.

Zámek má zabránit tomu, aby se zámková lopatka vlivem odstředivých sil neuvolnila. Z toho důvodu není funkcí zámkové lopatky odstředivé síly nést.

Zajišťuje požadované výstupní parametry media?

Ano, společně s dalšími lopatkami řady působí na pracovní medium tak, aby mělo na výstupu požadované parametry.

Převádí tepelnou energii na mechanickou?

Ano, společně s dalšími lopatkami řady vytváří užitný krouticí moment rotoru.

Tabulka č. 5: Seznam funkcí zámkové lopatky

Funkce	Hlavní	Základní	Vedlejší	Podpůrné
Uzavírá lopatkovou řadu	X			
Umožňuje výměnu lopatek		X		
Zajišťuje požadované výstupní parametry media		X		
Převádí tepelnou energii na mechanickou		X		

Hlavní výrobkovou funkcí zámkové lopatky je, že uzavírá lopatkovou řadu. To je důvod její existence ve smyslu, že když existuje prostor, který umožňuje montáž lopatek, je nutné jej určitým způsobem uzavřít. A uzavírá jej právě zámková lopatka. Všechny ostatní funkce jsou funkcemi základními, jelikož jsou součástí množiny základní koncepce řešení výrobku.

❖ Závítové šrouby

Uzavírají lopatkovou řadu?

Ne. Lopatkovou řadu uzavírá zámková lopatka.

Umožňují montáž lopatek?

Ne, závítové šrouby při montáži lopatek nehrají roli.

Umožňují výměnu lopatek?

Ano, jejich převrtáním je možné provést výměnu lopatek.

Zajišťují správnou polohu zámkové lopatky?

Ano, tažné plochy šroubů zajišťují správnou polohu zámkové lopatky.

Nesou část odstředivých sil?

Ano, tažné plochy šroubů nesou část odstředivých sil působících na zámkovou lopatku a taky nesou část odstředivých sil působících na ně samé.

Zajišťují požadované výstupní parametry media?

Ne, nemají na to žádný vliv.

Převádí tepelnou energii na mechanickou?

Ne, nemají na to žádný vliv.

Tabulka č. 6: Seznam funkcí závitových šroubů

Funkce	Hlavní	Základní	Vedlejší	Podpůrná
Umožňují výměnu lopatek		X		
Zajišťují správnou polohu zámkové lopatky	X			
Nesou část odstředivých sil		X		

Hlavní výrobkovou funkcí závitových šroubů je, že zajišťují správnou polohu zámkové lopatky. Všechny ostatní funkce jsou funkcemi základními, jelikož jsou součástí množiny základní koncepce řešení výrobku.

❖ Závity

Uzavírají lopatkovou řadu?

Ne. Lopatkovou řadu uzavírá zámková lopatka.

Umožňují montáž lopatek?

Ne, závity při montáži lopatek nehrají roli.

Umožňují výměnu lopatek?

Ano, převrtáním závitů je možné provést výměnu lopatek.

Zajišťují správnou polohu zámkové lopatky?

Ne, tažné plochy závitů zajišťují správnou polohu závitových šroubů.

Nesou část odstředivých sil?

Ano, tažné plochy závitů nesou část odstředivých sil působících na závitové šrouby.

Zajišťují požadované výstupní parametry media?

Ne, nemají na to žádný vliv.

Převádí tepelnou energii na mechanickou?

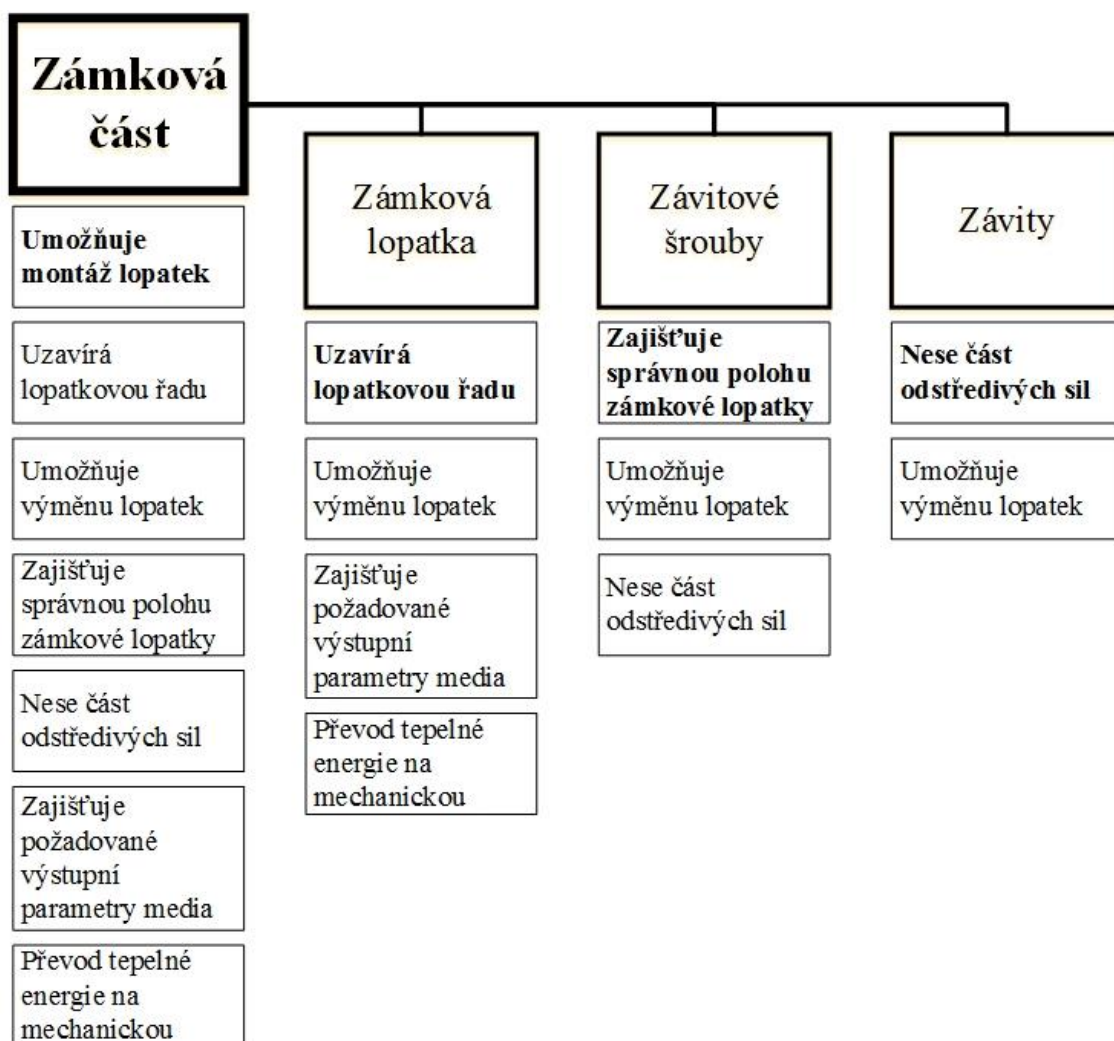
Ne, nemají na to žádný vliv.

Tabulka č. 7: Seznam funkcí závitů

Funkce	Hlavní	Základní	Vedlejší	Podpůrná
Umožňují výměnu lopatek		X		
Nesou část odstředivých sil	X			

Hlavní výrobkovou funkcí závitů je, že nesou část odstředivých sil. Tyto odstředivé síly na závity působí prostřednictvím šroubů, na které působí odstředivou silou zámková lopatka při otáčení rotoru. Všechny ostatní funkce jsou funkcemi základními, jelikož jsou součástí množiny základní koncepce řešení výrobku.

Funkční analýza je tímto hotova. Výsledky graficky sumarizují v níže uvedeném obrázku č. 13, kde jsou tučně zvýrazněny hlavní funkce analyzovaných objektů.



Obrázek č. 13: Diagram struktury funkcí

3.2 Aplikace metody DFMEA

V druhé podkapitole provádím pro každý prvek zámkového systému vlastní metodu DFMEA. Přitom vycházím z funkcí identifikovaných funkční analýzou. Výstupem metody je identifikace možných příčin a důsledků, jejich kvantifikované ohodnocení a případně návrh a ohodnocení doporučených opatření.

S aplikací metody DFMEA mi pomáhal a spoluvytvářel tak řešitelský tým, zaměstnanec Odštěpného závodu Industrial Turbomachinery Petr Blaha. Prahovou hodnotu ukazatele priority rizika (RPN), po jejímž překročení bude nutné hledat a zavádět nápravná opatření, jsem po konzultaci s ním stanovil na hodnotu rovnou součinu průměrných hodnot jednotlivých kritérií, což je 125.

3.2.1 Zámková lopatka

❖ Záhloví

A: 0012016

B: Zámková lopatka

C: -

D: 2016

E: 19. 4. 2016

F: 13. 5. 2016

G: Marek Jedlička, Petr Blaha

H: Bc. Marek Jedlička, VUT FP

❖ Hlavní část

První z funkcí zámkové lopatky je, že uzavírá lopatkovou řadu. Na základě této informace musím identifikovat možný způsob poruchy. Jako nejjednodušší způsob se nabízí negace identifikované funkce, při níž vycházím z toho, že negace požadované funkce je jednoznačnou vadou. (Jestliže objekt neplní svou funkci, je vadný). Možný způsob poruchy tedy je, že zámková lopatka neuzavírá lopatkovou řadu.

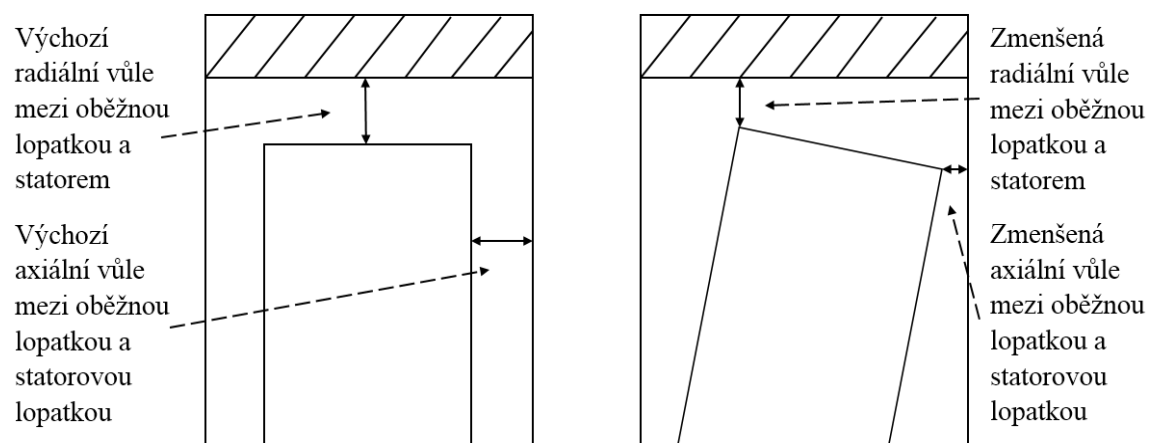
Podrobím-li ale tuto poruchu kritickému myšlení, zjistím, že není vhodné s ní dále pracovat. Aby totiž zámková lopatka řadu neuzavírala, znamenalo by to, že by nesmělo dojít k její montáži, což zkrátka nemůže nastat. Považuji ale za užitečné se o tomto zmínit vzhledem k systémovému přístupu k řešení.

Pro identifikaci správné poruchy pramenící ze zmíněné funkce je nutné s negací funkce dále pracovat. Správný možný způsob poruchy tedy je, že zámková lopatka **špatně uzavírá lopatkovou řadu.**

Z této možné poruchy pramení celá řada důsledků. Mezi ně patří možnost toho, že dojde k vyklonění některé oběžné lopatky a ke zvýšení vibrací rotoru. Dále je to změna polohy tlumícího drátu a nestejnsměrné tlumení kmitání lopatek. Řadí se sem také zmenšení radiální vůle mezi oběžnou lopatkou a statorem a zmenšení axiální vůle mezi oběžnou a satorovou lopatkou. Posledním možným identifikovaným důsledkem je destrukce lopatky.

Mezi všemi důsledky je patrný kauzální vztah. Vyklonění oběžné lopatky má za následek změnu polohy tlumícího drátu, jelikož ten prochází všemi lopatkami řady. Funkcí tohoto drátu je stejnosměrné tlumení kmitání lopatek. Zmíněná změna polohy tlumícího drátu schopnost plnění této funkce snižuje.

Přímým následkem vyklonění oběžné lopatky je zmenšení radiální vůle mezi oběžnou lopatkou a statorem a zmenšení axiální vůle mezi oběžnou lopatkou a statorovou lopatkou. Tuto situaci ilustruje následující obrázek.



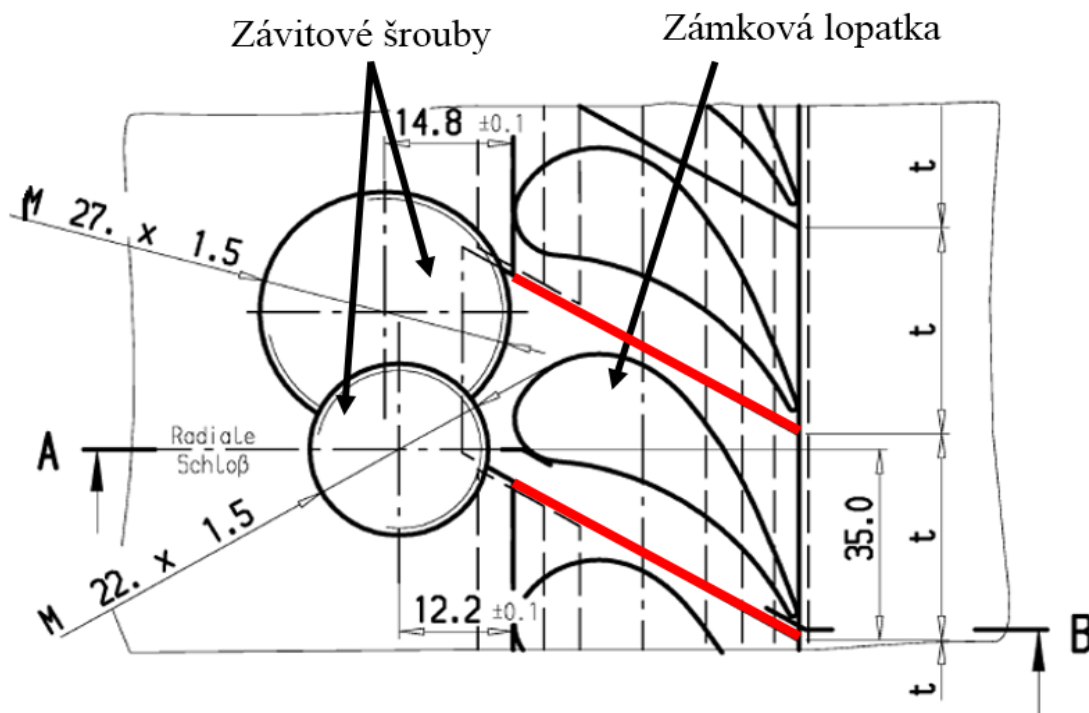
Obrázek č. 14: Radiální a axiální vůle oběžné lopatky

Obecně platí, že všechny zmíněné důsledky zvyšují vibrace rotoru, jelikož jsou odchylkami od požadovaného ideálního stavu. Vzhledem k tomuto řetězci kauzalit tyto důsledky shrnuji do jednoho nadřazeného (prvotního), kterým je **vyklonění lopatky**. Příčiny tohoto důsledku budou společné i všem ostatním.

Samostatně jsem se rozhodl dále řešit důsledek, kterým je **destrukce lopatky**, jelikož ten v návaznosti na vyklonění lopatky nemusí nastat (a nemusí být tedy součástí řetězce kauzalit). K destrukci lopatky dochází ve chvíli, kdy se vlivem zmenšení radiální či axiální vůle oběžná lopatka dostává do kontaktu se statorem či se statorovou lopatkou. Příčiny zde však platí stejné jako u předchozího důsledku.

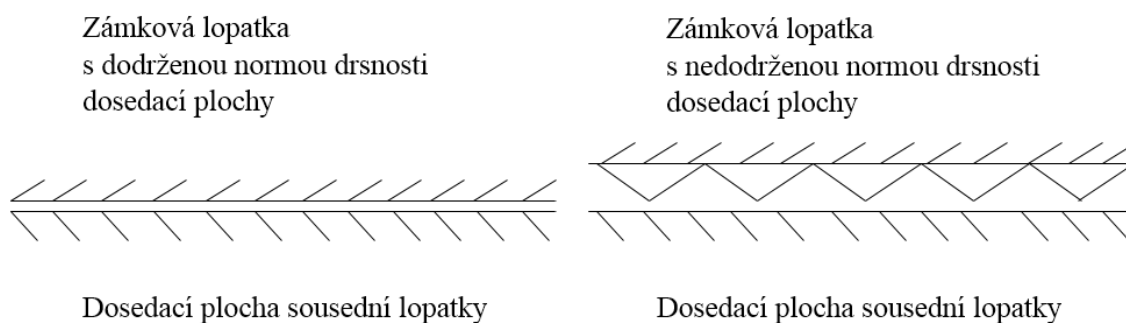
Důsledek vyklonění lopatky hodnotím závažností o velikosti 7, jelikož jeho vlivem dojde ke zhoršení primární funkce. Primární funkcí parní turbíny je tvorba užitečného krouticího momentu. **Důsledek destrukce lopatky hodnotím závažností o velikosti 9**, jelikož ovlivňuje bezpečný provoz soustrojí.

Možnou příčinou poruchy je **nedostatečné lícování dosedacích ploch dělení** zámkové lopatky. Jedná se o plochy závěsu, které jsou v kontaktu se závěsy sousedících lopatek. Dosedací plochy dělení musí se svými sousedy zcela lícovat, aby nemohlo dojít k vyklonění lopatky. Lícování v tomto případě znamená dotyk ploch závěsů. Na níže uvedeném obrázku jsou dosedací plochy dělení naznačeny červeným zvýrazněním.



Obrázek č. 15: Dosedací plochy dělení

Další možnou příčinou je **přílišná drsnost dosedacích ploch dělení** zámkové lopatky (vmáčknutí nerovností způsobuje zvýšené vůle). Tyto plochy musí být hladké dle existující normy. Jedná se opět o dotyk ploch závěsů, který je při nedodržené normě drsnosti (větší než požadované drsnosti) nedostatečný. Viz následující obrázek.



Obrázek č. 16: Význam drsnosti

Poslední identifikovanou možnou příčinou je **nevhodnost materiálu**, ze kterého je zámková lopatka vyrobena. Tento materiál musí např. splňovat minimální odolnost vůči teplotě a minimální pevnost v tahu.

Všechny zmíněné příčiny poruchy je snaha eliminovat nástroji řízení prevence. Správnost dosedacích ploch dělení je kontrolována oddělením kvality s pomocí 3D souřadnicového měřicího přístroje WENZEL (viz technologická dokumentace). Ten celou lopatku přeměří a porovnává s modelem, čímž určuje, zda jsou její rozměry v toleranci. Dále je preventivní kontrola zajišťována pracovníky montáže po zalopatkování lopatkové řady. Používají k tomu velice tenký plech (0,03 mm), který zasouvají mezi dosedací plochy dělení sousedících lopatek a kontrolují tak lícování.

Drsnost dosedacích ploch dělení je kontrolována drsnoměrem rovněž oddělením kvality. Materiálová struktura kontrolována není. Je pouze ověřen atest, který materiálu uděluje prověřený dodavatel. Již 15 let nedošlo u tohoto materiálu k jakékoli nejakosti.

Všechny příčiny hodnotím výskytem o velikosti 1, jelikož snaha o eliminaci je velice úspěšná a pravděpodobnost vzniku příčiny je tudíž velmi malá.

Pokud by k důsledkům vinou kterékoli z těchto příčin došlo, pak postup jejich hledání bude u všech stejný. Na základě důsledku, který se projeví na konkrétní zámkové lopatce (např. její povysunutí) je rozebrána její celá lopatková řada a obzvláště zámková část je důkladně přeměřena. Toto měření má právě za cíl příčinu důsledku identifikovat.

Všechny příčiny hodnotím odhalením o velikosti 5, jelikož zcela spolehlivé odhalení příčin výše popsáním způsobem není zaručeno a posuzuji je dle tabulky jako střední.

Ukazatel priority rizika pak má v prvním případě hodnotu 35 a ve druhém případě hodnotu 45. Jelikož stanovená prahová hodnota RPN není překročena, nepovažuji za nutné zavádět jakákoli nápravná opatření.

Tabulka č. 8: DFMEA pro poruchu zámkové lopatky 1

Funkce	Možný způsob poruchy	Možné důsledky poruchy	Závažnost	Klasifikace	Možné příčiny poruchy	Stávající návrh				RPN
						Nástroje řízení Prevence	Výskyt	Nástroje řízení Detekce	Odhavení	
Uzavírá lopatkovou řadu	Špatně uzavírá lopatkovou řadu	Vyklonění lopatky	7	-	Lícování dosedacích ploch	Měřicí přístroj WENZEL	1	Rozebrání a přeměření všech lopatek řady	5	35
					Drsnost dosedacích ploch	Drsnoměr	1	Rozebrání a přeměření všech lopatek řady	5	35
					Nevhodný materiál	Výstupní kontrola dodavatele	1	Rozebrání a přeměření všech lopatek řady	5	35
		Destrukce lopatky	9	-	Lícování dosedacích ploch	Měřicí přístroj WENZEL	1	Rozebrání a přeměření všech lopatek řady	5	45
					Drsnost dosedacích ploch	Drsnoměr	1	Rozebrání a přeměření všech lopatek řady	5	45
					Nevhodný materiál	Výstupní kontrola dodavatele	1	Rozebrání a přeměření všech lopatek řady	5	45
a	b	c	d	e	f	h	g	h	i	j

Druhou z funkcí zámkové lopatky je, že umožňuje výměnu lopatek. Na základě této funkce identifikuji možný způsob poruchy, kterým je, že **výměnu lopatek neumožňuje**.

Lopatky se prací opotřebovávají a v určitém stupni opotřebení je uživatel parní turbíny nucen jednat. Z hlediska jednání za účelem pokračování provozu soustrojí má na výběr mezi výměnou lopatek a výměnou rotoru. Výměna celého rotoru je samozřejmě mnohem nákladnější variantou, proto je výměna lopatek upřednostňována.

Možným důsledkem toho, že zámková lopatka výměnu lopatek neumožňuje, pak je **odstavení celého rotoru. Tento důsledek hodnotím závažností o velikosti 8**, jelikož znamená ztrátu primární funkce parní turbíny. Nicméně se týmu nepodařilo identifikovat u zámkové lopatky žádnou příčinu, která by mohla poruchu vyvolat. Z toho vyvozují, že **příčina** nejspíš **neexistuje** a tím pádem s touto poruchou u zámkové lopatky není

důvod dále pracovat. **Příčina, že by kvůli zámkové lopatce nebylo možné provést výměnu lopatek, neexistuje.**

Tabulka č. 9: DFMEA pro poruchu zámkové lopatky 2

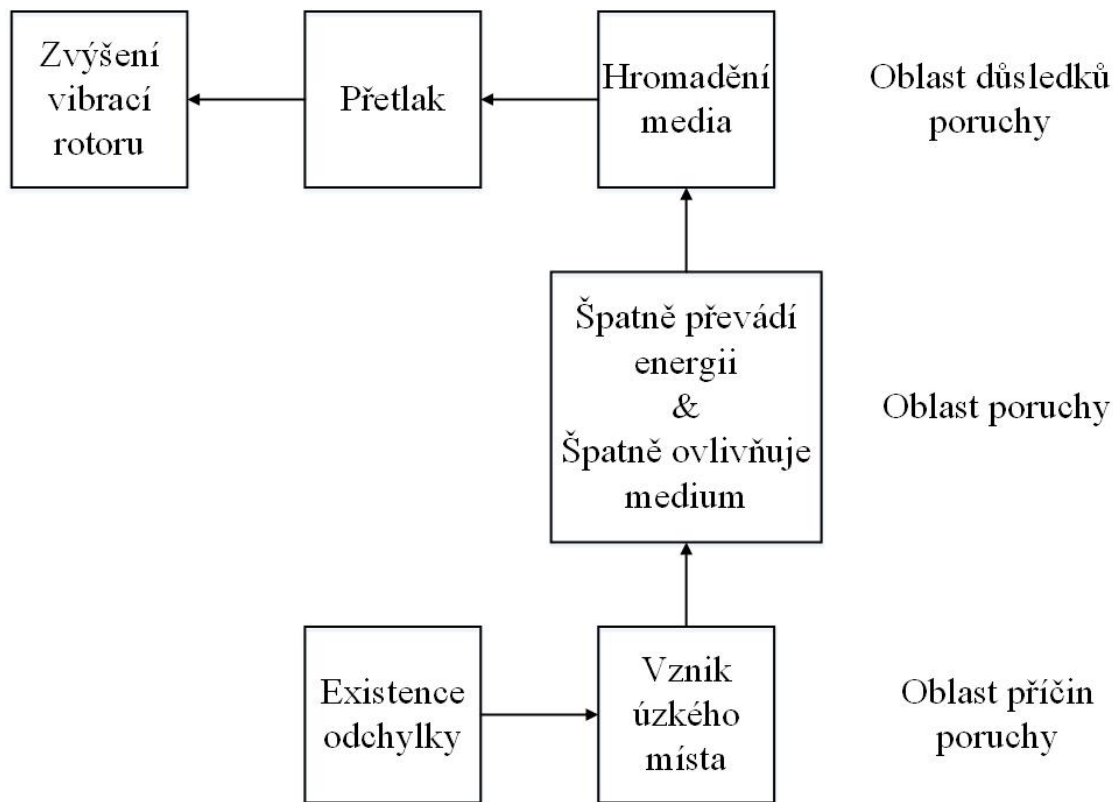
Funkce	Možný způsob poruchy	Možné důsledky poruchy	Závažnost	Klasifikace	Možné příčiny poruchy	Stávající návrh				RPN
						Nástroje řízení Prevence	Výskyt	Nástroje řízení Detekce	Odhadnutí	
Umožňuje výměnu lopatek	Neumožňuje výměnu lopatek	Odstavení rotoru	8	-	Neexistují	-	-	-	-	-
a	b	c	d	e	f	h	g	h	i	j

Třetí z funkcí zámkové lopatky je, že společně s ostatními lopatkami zajišťuje výstupní parametry media. Na základě této funkce identifikuji možný způsob poruchy, kterým je, že **špatně zajišťuje výstupní parametry media**. Čtvrtou z funkcí zámkové lopatky je, že společně s ostatními lopatkami převádí tepelnou energii na mechanickou. Na základě této funkce identifikuji možný způsob poruchy, kterým je, že **špatně převádí tepelnou energii na mechanickou**.

Opět v těchto dvou případech nelze pro poruchy použít prosté negace funkcí, jelikož k těm negacím nemůže dojít, je-li zámková lopatka namontována. A jak bylo uvedeno u první poruchy, nemůže nastat, že by nebyla namontována. Zároveň jsem si tyto dvě funkce vyhodnotil jako vhodné pro sloučení, jelikož tím, že dochází k převádění tepelné energie na mechanickou, dochází zároveň na zajišťování výstupních parametrů media a naopak. Tento vztah umožňuje i s těmito dvěma poruchami pracovat jako s poruchou jednou. To znamená, že důsledky budou společné.

Tato porucha v podstatě znamená, že existuje odchylka od ideálního stavu v oblasti listu zámkové lopatky, který je přímo v kontaktu s pracovním médiem turbíny a tím působí na jeho výstupní parametry, což zároveň znamená, že převádí tepelnou energii na mechanickou (vytváří užitečný krouticí moment). (Požadované výstupní parametry pracovního media se odvíjí od požadavků zákazníka, kterému je soustrojí vytvořeno na míru). Důsledkem zmíněné odchylky je, že při práci stroje vzniká v jeho průtočné části úzké místo, které způsobuje hromadění pracovního media v té oblasti a vzniká kvůli tomu přetlak. Ten má na svědomí zvýšení vibrací rotoru.

Tento řetězec kauzalit mi pomohl lépe situaci pochopit a dát jí potřebný rámec. Pro přehlednost jej doplňuji následujícím obrázkem.



Obrázek č. 17: Rozlišení důsledků a příčin poruchy

Jako důsledek poruchy identifikuji **zvýšení vibrací rotoru**, jelikož dle mého názoru nejlépe umožňuje vytvoření požadované představy o množině kauzálně vázaných důsledků poruchy. **Zvýšení vibrací rotoru hodnotím závažností o velikosti 7**, jelikož znamenají zhoršení primární funkce soustrojí.

Možné příčiny poruchy je nutné hledat v možných odchylkách listu zámkové lopatky od ideálního stavu. Tu jsem identifikoval jako **nesprávný úhel listu lopatky vůči jejímu závěsu**.

Tuto příčinu je snaha eliminovat nástrojem řízení prevence, kterým je 3D souřadnicový měřicí přístroj WENZEL (viz technologická dokumentace), používaný oddělením kvality. **Příčinu hodnotím výskytem o velikosti 1**, jelikož snaha o eliminaci je velice úspěšná a pravděpodobnost vzniku příčiny je tudíž velmi malá.

Pokud by k důsledku vinou této příčiny došlo, pak je šance jejího odhalení velmi nízká. Nelze totiž ani identifikovat, na kterou řadu se zaměřit a rozebrat. Kandidátů na potřebné přeměření je příliš mnoho, než aby to bylo realizovatelné.

Příčinu tedy hodnotím odhalením o velikosti 9, jelikož neexistuje spolehlivý způsob její identifikace. Šanci posuzuji dle tabulky jako velmi mizivou.

Ukazatel priority rizika pak má hodnotu 63. Jelikož stanovená prahová hodnota RPN není překročena, nepovažuji za nutné zavádět jakákoli nápravná opatření.

Tabulka č. 10: DFMEA pro poruchu zámkové lopatky 3

Funkce	Možný způsob poruchy	Možné důsledky poruchy	Závažnost	Klasifikace	Možné příčiny poruchy	Stávající návrh				RPN
						Nástroje řízení Prevence	Výskyt	Nástroje řízení Detekce	Odhalení	
Zajišťuje požadované výstupní parametry media & Převádí tepelnou energii na mechanickou	Špatně zajišťuje požadované výstupní parametry media Špatně převádí tepelnou energii na mechanickou	Zvýšení vibrací rotoru	7	-	Nesprávný úhel listu lopatky vůči jejímu závěsu	Měřicí přístroj WENZEL	1	Nelze detekovat	9	63
a	b	c	d	e	f	h	g	h	i	j

3.2.2 Závítové šrouby

❖ Záhloví

A: 0022016

B: Závítové šrouby

C: -

D: 2016

E: 19. 4. 2016

F: 13. 5. 2016

G: Marek Jedlička, Petr Blaha

H: Bc. Marek Jedlička, VUT FP

❖ Hlavní část

První z funkcí závitových šroubů je, že zajišťují správnou polohu zámkové lopatky. Na základě této funkce identifikuji možný způsob poruchy, kterým je, že **nezajišťují správnou polohu zámkové lopatky**. Druhou z funkcí závitových šroubů je, že nesou část odstředivých sil. Na základě této funkce identifikuji možný způsob poruchy, kterým je, že **nesou část odstředivých sil**.

Použil jsem zde negace funkcí, jelikož možné způsoby poruchy vystihují. Zároveň zde mohu provést opět sloučení těchto dvou funkcí (a tedy i poruch), jelikož mi to dovoluje jejich vzájemný vztah. Šrouby správnou polohu zámkové lopatky zajišťují tím, že spolu se závity nesou odstředivé síly, které na ni působí. Důsledky poruch tedy budou společné.

Mezi možné důsledky patří opět **vyklonění lopatky** a **destrukce lopatky**. Jedná se o důsledky, které jsem již identifikoval u zámkové lopatky a mohou nastat i v případě poruchy u závitových šroubů, což je dáno jejich funkcí. **Hodnocení jejich závažností je totožné jako v předešlém případě.**

Z důvodu jiné perspektivy se ale bude lišit oblast pro hledání příčin. Zatímco u zámkové lopatky příčiny souvisí se závěsem lopatky, u závitových šroubů jsou oblastí šrouby.

Jako jednu z možných příčin jsem identifikoval **zvýšené vůle závitových ploch**. To znamená, že celkový průměr šroubu (tělo a závit) je užší než závit, do kterého je šroubován, a vodící otvory závitu nejsou zcela vyplněny.



Obrázek č. 18: Zvýšené vůle závitových ploch

Druhou identifikovanou příčinou je **nedostatečná délka šroubu**. Existuje samozřejmě řada dalších příčin, v rámci kterých šroub vykazuje určitou nejakost. Např. že je širší než otvor nebo jeho závity mají jiné stoupání. Při výskytu těchto příčin jej ale montér

nezašroubuje a tudíž porucha nemůže nastat, jelikož se příčina nemůže realizovat. Proto s dalšími příčinami dále nepracuji.

Obě vybrané příčiny je snaha eliminovat stejným nástrojem řízení prevence, kterým je konečná rozměrová kontrola. Zde jsou změřeny všechny rozměry každého závitového šroubu. **Příčiny hodnotím výskytem o velikosti 1**, jelikož snaha o eliminaci je velice úspěšná a pravděpodobnost vzniku příčiny je tudíž velmi malá.

Pokud by k důsledkům vinou kterékoli z těchto příčin došlo, pak postup jejich hledání bude u všech stejný. Opět na základě důsledku, který se projeví na konkrétní zámkové lopatce (např. její povysunutí) je rozebrána její celá lopatková řada a obzvlášť zámková část je důkladně přeměřena. Toto měření má právě za cíl příčinu důsledku identifikovat.

Všechny příčiny hodnotím odhalením o velikosti 5, jelikož zcela spolehlivé odhalení příčin výše popsaným způsobem není zaručeno a posuzuji je dle tabulky jako střední.

Ukazatel priority rizika pak má v prvním případě hodnotu 35 a ve druhém případě hodnotu 45. Jelikož stanovená prahová hodnota RPN není překročena, nepovažuji za nutné zavádět jakákoli nápravná opatření.

Tabulka č. 11: DFMEA pro poruchu závitových šroubů 1

Funkce	Možný způsob poruchy	Možné důsledky poruchy	Závažnost	Klasifikace	Možné příčiny poruchy	Stávající návrh				RPN
						Nástroje řízení Prevence	Výskyt	Nástroje řízení Detekce	Odhalení	
Zajišťují správnou polohu zámkové lopatky & Nesou část odstředivých sil	Nezajišťují správnou polohu zámkové lopatky	Vyklonění lopatky	7	-	Nedostatečná délka šroubu	Konečná rozměrová kontrola	1	Rozebrání a přeměření celé lopatkové řady	5	35
					Zvýšené vůle závitových ploch	Konečná rozměrová kontrola	1	Rozebrání a přeměření celé lopatkové řady	5	35
	Nenesou část odstředivých sil	Destrukce lopatky	9	-	Nedostatečná délka šroubu	Konečná rozměrová kontrola	1	Rozebrání a přeměření celé lopatkové řady	5	45
					Zvýšené vůle závitových ploch	Konečná rozměrová kontrola	1	Rozebrání a přeměření celé lopatkové řady	5	45
a	b	c	d	e	f	h	g	h	i	j

Třetí z funkcí závitových šroubů je, že umožňují výměnu lopatek. Na základě této funkce identifikuji možný způsob poruchy, kterým je, že **výměnu lopatek neumožňují**.

S touto funkcí jsem pracoval už u zámkové lopatky a u závitových šroubů je situace zcela stejná. Důsledkem je **odstavení rotoru**, který **hodnotím stejnou velikostí závažnosti**, nicméně ani u šroubů neexistuje žádná příčina, která by danou poruchu mohla vyvolat.

Tabulka č. 12: DFMEA pro poruchu závitových šroubů 2

Funkce	Možný způsob poruchy	Možné důsledky poruchy	Závažnost	Klasifikace	Možné příčiny poruchy	Stávající návrh				RPN
						Nástroje řízení Prevence	Výskyt	Nástroje řízení Detekce	Odhaltění	
Umožňuje výměnu lopatek	Neumožňuje výměnu lopatek	Odstavení rotoru	8	-	Neexistují	-	-	-	-	-
a	b	c	d	e	f	h	g	h	i	j

3.2.3 Závity

❖ Záhloví

- A: 0032016
- B: Závity
- C: -
- D: 2016
- E: 19. 4. 2016
- F: 13. 5. 2016
- G: Marek Jedlička, Petr Blaha
- H: Bc. Marek Jedlička, VUT FP

❖ Hlavní část

První z funkcí závitů je, že nesou část odstředivých sil. Na základě této funkce identifikuji možný způsob poruchy, kterým je, že **nenesou část odstředivých sil**.

Tuto funkci mají společnou se závitovými šrouby, a tudíž důsledky poruchy budou stejné. Jedná se o **vyklonění lopatky** a o **destrukci lopatky** s již dříve uvedenými velikostmi závažností.

Jako možnou příčinu jsem stejně jako u šroubů opět identifikovat **zvýšené vůle závitových ploch**. Tentokrát ale kvůli špatně vyvrtanému závitu. **Ohledně nástrojů**

prevence, výskytu, detekce a odhalení platí totéž jako u šroubů. Jejich ohodnocení je také totožné.

Ukazatel priority rizika pak má v prvním případě hodnotu 35 a ve druhém případě hodnotu 45. Jelikož stanovená prahová hodnota RPN není překročena, nepovažují za nutné zavádět jakákoli nápravná opatření.

Tabulka č. 13: DFMEA pro poruchu závitů 1

Funkce	Možný způsob poruchy	Možné důsledky poruchy	Závažnost	Klasifikace	Možné příčiny poruchy	Stávající návrh				RPN
						Nástroje řízení Prevence	Výskyt	Nástroje řízení Detekce	Odhadnutí	
Nesou část odstředivých sil	Nenesou část odstředivých sil	Vyklonění lopatky	7	-	Zvýšené vůle závitových ploch	Konečná rozměrová kontrola	1	Rozebrání a přeměření celé lopatkové řady	5	35
		Destrukce lopatky	9	-	Zvýšené vůle závitových ploch	Konečná rozměrová kontrola	1	Rozebrání a přeměření celé lopatkové řady	5	45
a	b	c	d	e	f	h	g	h	i	j

Druhou funkcí závitů je, že umožňují výměnu lopatek. Na základě této funkce identifikují možný způsob poruchy, kterým je, že **výměnu lopatek neumožňují**.

Tato porucha již byla řešena u obou předešlých komponent. Vše je stejné – **důsledkem poruchy funkce je odstavení rotoru o závažnosti 8**, takže přecházím rovnou do oblasti příčin. **Oblast příčin zde již nezůstane nevyplněna.**

Možnou příčinou poruchy je, že **výměna lopatek již byla provedena**. Výměna totiž probíhá převrtáním původních závitů společně se šrouby na větší průměr, ve kterém jsou vytvořeny nové závity a do kterých jsou na konci výměny zavrtány nové šrouby. A jelikož mezery mezi lopatkovými řadami, které představují prostor pro rozšiřování závitů, jsou samozřejmě rozměrově omezeny, lze rozšíření (výměnu) provést pouze jednou. Pro druhé rozšíření již není místo.

To, že k poruše – odstavení rotoru z příčiny nemožnosti výměny lopatek dojde, je věc nevyhnutelná. Neexistují žádné nástroje řízení prevence příčiny, jelikož postupnému opotřebování lopatek nelze zabránit. Na základě tabulky tedy uvedenou **příčinu hodnotím výskytem o velikosti 9**.

Nástroje řízení detekce příčiny jsou zcela jednoduché a spolehlivé. Jsou jimi záznamy o výměnách, případně rozhovor se zákazníkem, který odhalí, zda k výměně došlo či nedošlo. Vzhledem k tomu **příčinu hodnotím odhalením o velikosti 1**, jelikož je zcela jisté. **Ukazatel priority rizika pak má hodnotu 72**. Jelikož stanovená prahová hodnota RPN není překročena, nepovažuji za nutné zavádět jakákoli nápravná opatření.

Tabulka č. 14: DFMEA pro poruchu závitů 2

Funkce	Možný způsob poruchy	Možné důsledky poruchy	Závažnost	Klasifikace	Možné příčiny poruchy	Stávající návrh				RPN
						Nástroje řízení Prevence	Výskyt	Nástroje řízení Detekce	Odhalení	
Umožňují výměnu lopatek	Neumožňují výměnu lopatek	Odstavení rotoru	8	-	Výměna lopatek již byla provedena	Neexistuje	9	Rozhovor se zákazníkem Záznamy o výměnách	1	72
a	b	c	d	e	f	h	g	h	i	j

ZÁVĚR

Byl jsem pověřen, abych touto diplomovou prací pomohl k tomu, aby nedocházelo k poruchám u nového konstrukčního řešení zámku.

Problém, jehož vyřešení je cílem diplomové práce, jsem definoval jako identifikaci možných příčin vzniku poruch u nového řešení zámku lopatkových řad.

S pomocí funkční analýzy jsem v DFMEA pojmenoval konkrétní možné poruchy a pro každou z nich jsem identifikoval možné důsledky a možné příčiny. Tyto parametry jsem zkoumal takovým způsobem, abych je dokázal ohodnotit z hlediska závažnosti, výskytu a odhalení. Ohodnocení mi umožňuje příčiny kvantifikovat a dále s nimi pracovat.

Jelikož ukazatel priority rizika příčiny v žádném případě nepřekročil stanovenou prahovou hodnotu, nepovažuji za nutné zavádět jakákoli opatření, která by měla riziko realizace příčiny snižovat.

Při pohledu na uspořádané výsledky metody DFMEA ve formulářích, které jsou uvedeny v přílohách 5 až 8 je společným znakem ve všech případech vysoká hodnota závažnosti důsledků. Kdyby některý prvek zámku svoji funkci plnil nedostatečně nebo ji zcela ztratil (došlo by k poruše), tak by plynoucí důsledek zpravidla obecně znamenal zhoršení či ztrátu primární funkce soustrojí a často i ohrožení bezpečnosti okolí parní turbíny.

Nicméně hodnota výskytu je až na jednu výjimku ve všech případech nejmenší možná a to 1. Je to dáno tím, že je v závodě úspěšně aplikována velice účinná prevence příčin, které mohou způsobovat identifikované poruchy. Systém kontroly je vysoce efektivní. Nástroje, které používá, jsou moderní a přesné.

Hodnota odhalení je obecně středně velká. Je to pochopitelné, jelikož tím, že je kladen důraz na prevenci, která je úspěšná, není motiv příliš rozvíjet nástroje detekce. Ty by totiž akorát zbytečně navyšovaly náklady pro řešení situací, které nenastanou.

Identifikace možných příčin vzniku poruch dopadla úspěšně a cíl diplomové práce byl tak naplněn. Současný stav je díky tomu na vyšší úrovni než dříve.

Pomohl jsem k tomu, aby k poruchám nedocházelo tím, že jsem identifikoval jejich možné příčiny a zjistil jsem, že jejich realizace je vysoce nepravděpodobná.

SHRNUTÍ

Diplomová práce vznikla v reakci na významný problém, který se vyskytl u standardního technického řešení systému zámku na rotoru parní turbíny u posledních lopatkových řad (oblast nízkého tlaku). K tomuto problému nesmí docházet, jelikož představuje vážné bezpečnostní riziko. Společnost Siemens proto vyvinula nové technické řešení tohoto zámku, které má za úkol zmíněné riziko eliminovat. **Byl jsem pověřen, abych touto diplomovou prací pomohl k tomu, aby k problému (k poruchám obecně) nedocházelo.**

Začal jsem tím, že jsem se v rámci **analýzy** seznámil s konstrukčními, technologickými a provozními charakteristikami parních turbín. Jedná se v těchto ohledech o vysoce sofistikované soustrojí, které je hodno obdivu. Zaměřil jsem se podrobněji na problematiku lopatkování, jelikož se jedná o specifickou oblast parní turbíny, ve které se nachází hlavní předmět mého zájmu – zámek lopatkových řad.

Standardní systém zámku, kvůli kterému se problém vyskytl, se skládá z vyplňovacího kusu a klínu. Závěs zámkové lopatky je zde stejný jako u ostatních oběžných lopatek řady. Vyplňovací kus má za úkol doplnit drážku rotoru jak pro zámkovou lopatku, tak pro část závěsu sousední lopatky z obou stran (je s přesahem). Klín pak je navržen a použit z toho důvodu, aby nesl odstředivé síly působící na vyplňovací kus a zámkovou lopatku. Bývá pojištěn šrouby. Od určité výše provozních otáček není spolehlivý (dochází k jeho uvolňování).

Nový systém zámku se skládá ze zámkové lopatky, šroubů a závitů. Závěs zámkové lopatky je usazen v rotorové drážce pouze z jedné strany a z druhé strany je pojištěn šrouby v závitech. Šrouby jsou zašroubovány do závitů, do závěsu zámkové lopatky a také do sebe navzájem. Tažné plochy těchto prvků drží zámek pohromadě.

Všechny prvky tohoto nového zámku jsou prvky kritickými a bylo nutné, abych se na ně blíže zaměřil. Uvádím tedy technologický postup pro každý tento prvek. Jedná se o přehled jednotlivých výrobních aj. operací, který mi umožnil lépe se v problematice zorientovat. Především znalost kontrolních operací se později ukázala jako užitečná.

Pro stanovení cíle diplomové práce jsem na základě pověření ze strany společnosti Siemens vycházel z toho, že u nového řešení zámku k žádným poruchám zatím nedochází. Aby k poruchám nedocházelo ani v budoucnu, tak by měly být nejprve identifikovány. **Proto jsem se problém, kterým se v diplomové práci zabývám, a kterým hodlám pomoci k tomu, aby k poruchám nedocházelo, rozhodl definovat jako identifikaci možných příčin vzniku poruch u nového řešení zámku lopatkových řad. Vyřešení tohoto problému je cílem diplomové práce.**

Problém také zohledňuje záměry závodu do budoucna, mezi které například patří snižování úrazovosti a snižování nákladů z nehod a pokut. Funkčnost zámku a z toho plynoucí bezpečnost při provozu parní turbíny, s těmi záměry jednoznačně souvisí.

Pokračoval jsem tím, že jsem v **teorii** hledal vhodné metody, kterými bych mohl problém vyřešit. Jako možné kandidáty jsem vybral metodu FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) a metodu FTA (Fault Tree Analysis). Metoda FTA identifikuje různé úrovně příčin na základě konkrétní poruchy a stanovuje jim pravděpodobnost. Metoda FMEA na základě poruchy identifikuje jak příčiny, tak i důsledky, přičemž příčiny jsou zde zkoumány nejen z hlediska výskytu, ale i odhalení. Dělí se na DFMEA (Design FMEA) a PFMEA (Process FMEA).

Rozhodl jsem se použít DFMEA především kvůli tomu, že mi umožňuje příčiny zkoumat z více perspektiv. **Jelikož východiskem pro DFMEA jsou funkce zkoumaného objektu, zabývám se rovněž funkční analýzou** pro jejich identifikaci.

Práce vrcholí **řešením** zadaného problému. V rámci funkční analýzy si nejprve zámeček jakožto objekt řešení zasazuji do systémových struktur prvků rotoru parní turbíny, abych si díky tomu uvědomil, že hlavní funkce parní turbíny prostupuje celou hierarchií až k zámku, jehož jednou z funkcí je také. Následně pomocí intuitivní metody řetězce otázek a odpovědí objektu přiřazuji zbylé funkce a identifikuji z nich funkci hlavní.

Pro lepší využitelnost informací pro DFMEA zámeček ještě podrobněji rozděluji na jednotlivé prvky, kterými jsou jeho kritické části – lopatka, šrouby, závity. Znovu stejnou metodou každému z nich přiřazuji funkce vycházející z toho, že množinu funkcí, které prvkům mohou být přiřazeny, představuje seznam funkcí zámku jakožto nadřazený objekt.

DFMEA provádím pro každý prvek zámku zvlášť. Nejprve vždy na základě každé funkce prvku definuji možný způsob poruchy. Ze způsobu poruchy odvozují její možné důsledky, které hodnotím číslem velikosti závažnosti. Dále ze způsobu poruchy odvozují možné příčiny, kterým dle existujících nástrojů řízení prevence přiřazují hodnotu výskytu a dle existujících nástrojů řízení detekce přiřazují hodnotu odhalení. Na základě těchto tří číselných hodnot stanovují jejich součinem ukazatel priority rizika, který porovnávám s prahovou hodnotou.

Jelikož ukazatel priority rizika příčiny v žádném případě nepřekročil stanovenou prahovou hodnotu, nepovažuji za nutné zavádět jakákoli opatření, která by měla riziko realizace příčiny snižovat.

Identifikace možných příčin vzniku poruch dopadla úspěšně a cíl diplomové práce byl tak naplněn. Současný stav je díky tomu na vyšší úrovni než dříve. Pomohl jsem k tomu, aby k poruchám nedocházelo tím, že jsem identifikoval jejich možné příčiny a zjistil jsem, že jejich realizace je vysoce nepravděpodobná.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] O nás. *Siemens.cz* [online]. ©2014 [cit. 2015-10-15]. Dostupné z: https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/o_nas/Pages/profil_spolecnosti.aspx
- [2] Industrial Turbomachinery. *Siemens.cz* [online]. ©2014 [cit. 2015-10-15]. Dostupné z: https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/Industrial_turbomachinery/Pages/industrial_turbomachinery.aspx
- [3] ABB ENERGETICKÉ SYSTÉMY. *Parní a plynové turbíny: konstrukce a technologie*. Brno: ABB Energetické systémy, 1998.
- [4] Steam turbine. *Siemens.com* [online]. ©1996 - 2015 [cit. 2015-10-22]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/press/photo/EFP20041001-01e>
- [5] PALÁN, M. Konzultace diplomové práce. Brno: Odštěpný závod Industrial Turbomachinery, 8. 10. 2015.
- [6] PALÁN, M. Konzultace diplomové práce. Brno: Odštěpný závod Industrial Turbomachinery, 20. 10. 2015.
- [7] PALÁN, M. Konzultace diplomové práce. Brno: Odštěpný závod Industrial Turbomachinery, 3. 11. 2015.
- [8] BLAHA, P. Konzultace diplomové práce. Brno: Odštěpný závod Industrial Turbomachinery, 5. 11. 2015.
- [9] BLAHA, P. Konzultace diplomové práce. Brno: Odštěpný závod Industrial Turbomachinery, 13. 11. 2015.
- [10] SIEMENS AB POWER GENERATION INDUSTRIAL APPLICATIONS. *Schaufelschlos Blade Lock Nuttyp NIB / 31.6: ZG320004.3*.
- [11] SIEMENS AB POWER GENERATION INDUSTRIAL APPLICATIONS. *Schaufelschlos Blade Lock Nuttyp T6 / 32.0: ZG332504.3*.
- [12] FLORIÁN, J. Konzultace diplomové práce. Brno: Odštěpný závod Industrial Turbomachinery, 24. 11. 2015.
- [13] Siemens, s.r.o., odštěpný závod Industrial Turbomachinery. *Cíle integrovaného systému*. Brno: Siemens, s.r.o., odštěpný závod Industrial Turbomachinery, 2013.

- [14] Siemens, s.r.o., odštěpný závod Industrial Turbomachinery. *Politika (Směrnice pro řízení politiky)*. Brno: Siemens, s.r.o., odštěpný závod Industrial Turbomachinery, 2013.
- [15] KREJČÍŘ, M. Konzultace diplomové práce. Brno: Odštěpný závod Industrial Turbomachinery, 3. 12. 2015.
- [16] KAŠÍK, L. Konzultace diplomové práce. Brno: Odštěpný závod Industrial Turbomachinery, 3. 12. 2015.
- [17] BARTES, F. *Jakost v podniku*. 1. vydání. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM[®], 2007. 90 s. ISBN 978-80-214-3362-5.
- [18] VEBER, J. *Řízení jakosti a ochrana spotřebitele*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2002. 80-247-0194-4.
- [19] FREHR, H. U. *Total Quality Management*. 1. vydání. Brno: Unis publishing, 1995. ISBN 3-446-17135-5.
- [20] FTA. *ikvalita.cz* [online]. © 2005 - 2016 [cit. 2016-1-24]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/pic/fta.gif>
- [21] PETRAŠOVÁ, I. *Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. 4. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. 143 s. ISBN 978-80-02-02101-8.
- [22] DOSTÁL, Vladimír, Jaroslav LOUBAL a František BARTES. *Hodnotové inženýrství: cesta k dosažení komerčně úspěšného výrobku*. Vyd. 1. Ostrava: Key Publishing, 2009. ISBN 978-80-7418-003-3.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Zařazení parních turbín [3]	12
Obrázek č. 2: Parní turbína řady SST-800 [4]	14
Obrázek č. 3: Standardní provedení zámku [10]	15
Obrázek č. 4: Standardní provedení zámku – přesah [10]	16
Obrázek č. 5: Nové provedení zámku 1 [11]	16
Obrázek č. 6: Nové provedení zámku 2 [11]	17
Obrázek č. 7: Detail nového provedení zámku [11]	23
Obrázek č. 8: Příklad stromového diagramu [20]	31
Obrázek č. 9: Třídění funkcí dle věcných hledisek [22]	33
Obrázek č. 10: Struktura systémových prvků – nad objektem	37
Obrázek č. 11: Struktura systémových prvků – pod objektem	37
Obrázek č. 12: Prostoupení hl. funkce parní turbíny strukturou	38
Obrázek č. 13: Diagram struktury funkcí	44
Obrázek č. 14: Radiální a axiální vůle oběžné lopatky	46
Obrázek č. 15: Dosedací plochy dělení	47
Obrázek č. 16: Význam drsnosti	47
Obrázek č. 17: Rozlišení důsledků a příčin poruchy	51
Obrázek č. 18: Zvýšené vůle závitových ploch	53

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Technologický postup zámkové lopatky [7]	18
Tabulka č. 2: Technologický postup závitových šroubů [8]	21
Tabulka č. 3: Technologický postup závitů [7]	22
Tabulka č. 4: Seznam funkcí zámkové části	39
Tabulka č. 5: Seznam funkcí zámkové lopatky	41
Tabulka č. 6: Seznam funkcí závitových šroubů	42
Tabulka č. 7: Seznam funkcí závitů	43
Tabulka č. 8: DFMEA pro poruchu zámkové lopatky 1	49
Tabulka č. 9: DFMEA pro poruchu zámkové lopatky 2	50

Tabulka č. 10: DFMEA pro poruchu zámkové lopatky 3.....	52
Tabulka č. 11: DFMEA pro poruchu závitových šroubů 1.....	54
Tabulka č. 12: DFMEA pro poruchu závitových šroubů 2.....	55
Tabulka č. 13: DFMEA pro poruchu závitů 1	56
Tabulka č. 14: DFMEA pro poruchu závitů 2	57

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Vzorový formulář DFMEA [21]

Příloha č. 2: Tabulka pro hodnocení závažnosti DFMEA [21]

Příloha č. 3: Tabulka pro hodnocení výskytu DFMEA [21]

Příloha č. 4: Tabulka pro hodnocení odhalení DFMEA [21]

Příloha č. 5: Tabulka DFMEA – Zámková lopatka 1. část

Příloha č. 6: Tabulka DFMEA – Zámková lopatka 2. část

Příloha č. 7: Tabulka DFMEA – Závitové šrouby

Příloha č. 8: Tabulka DFMEA – Závity

PŘÍLOHY

Vzorový formulář DFMEA [21]

_____ systém

_____ subsystém

_____ komponent

Rok výroby modelu/program _____

Řešitelský tým _____

_____ B

_____ D

_____ G

_____ Odpovědnost za návrh produktu _____ C

_____ Rozhodné datum _____ E

Číslo FMEA _____ A

Strana _____ celkem z _____ H

Vypracoval _____

Datum vypracování FMEA (orig.) _____ F

Objekt/ Funkce	Požadavek	Možný způsob poruchy	Možné důsledky poruchy	Závažnost	Klasifikace	Možné příčiny poruchy	Stávající návrh				RPN	Doporučené opatření	Odpovídá & Termín dokončení	Výsledek opatření				
							Nástroje řízení Prevence	Výskyt	Nástroje řízení Detekce	Odhalení				Přijaté opatření Datum dokončení	Závažnost	Výskyt	Odhalení	RPN
a		b	c	d	e	f	h	g	h	i	j	k	l	m	-n-			

Tabulka pro hodnocení závažnosti DFMEA [21]

Důsledek	Kritéria: Závažnost důsledku ve vztahu k produktu (Důsledek ve vztahu k zákazníkovi)	Známka hodnocení
Nesplnění bezpečnostních požadavků a/nebo požadavků předpisů	Možný způsob poruchy, který bez varování ovlivňuje bezpečný provoz stroje a/nebo znamená nesoulad s právními předpisy.	10
	Možný způsob poruchy, který i s varováním ovlivňuje bezpečný provoz stroje a/nebo znamená nesoulad s právními předpisy.	9
Ztráta nebo zhoršení primární funkce	Ztráta primární funkce (neovlivňuje bezpečný provoz stroje).	8
	Zhoršení primární funkce.	7
Ztráta nebo zhoršení sekundární funkce	Ztráta sekundární funkce.	6
	Zhoršení sekundární funkce.	5
Nepříjemnost	Vzhled nebo hluk, objekt není ve shodě a všimla si toho většina zákazníků ($\geq 70\%$).	4
	Vzhled nebo hluk, objekt není ve shodě a všimlo si toho mnoho zákazníků ($\geq 50\%$).	3
	Vzhled nebo hluk, objekt není ve shodě a všimli si toho hodně nároční zákazníci ($\geq 25\%$).	2
Žádný důsledek	Žádný znatelný důsledek.	1

Tabulka pro hodnocení výskytu DFMEA [21]

Pravděpodobnost poruchy	Kritéria: výskyt příčiny – DFMEA (Projektovaná doba života/bezporuchovosti objektu)	Kritéria: výskyt příčiny – DFMEA (Počet případů na počet objektů)	Známka hodnocení
Velmi velká	Nová technologie/nový návrh produktu bez historie.	≥ 100 na tisíc ≥ 1 z 10	10
Velká	Porucha je v případě nového návrhu produktu, nového použití nebo změny při pracovním cyklu/provozních podmínkách nevyhnutelná.	50 na tisíc 1 z 20	9
	Porucha je v případě nového návrhu produktu, nového použití nebo změny při pracovním cyklu/provozních podmínkách pravděpodobná.	20 na tisíc 1 z 50	8
	Porucha je v případě nového návrhu produktu, nového použití nebo změny při pracovním cyklu/provozních podmínkách nejistá.	10 na tisíc 1 ze 100	7
Střední	Četné poruchy spojované s podobnými návrhy nebo při simulaci a zkoušení návrhu produktu.	2 na tisíc 1 z 500	6
	Náhodné poruchy spojované s podobnými návrhy nebo při simulaci a zkoušení návrhu produktu.	0,5 na tisíc 1 z 2 000	5
	Ojedinelé poruchy spojované s podobnými návrhy nebo při simulaci a zkoušení návrhu produktu.	0,1 na tisíc 1 z 10 000	4
Malá	Pouze ojedinělé poruchy spojované s téměř identickým návrhem nebo při simulaci a zkoušení návrhu produktu.	0,01 na tisíc 1 z 100 000	3
	Žádné zjištěné poruchy spojované s téměř identickým návrhem nebo při simulaci a zkoušení návrhu produktu.	$\leq 0,001$ na tisíc 1 z 1 000 000	2
Velmi malá	Porucha je eliminována nástroji řízení prevence.	Porucha je eliminována nástroji řízení prevence.	1

Tabulka pro hodnocení odhalení DFMEA [21]

Možnost detekce	Kritéria: Pravděpodobnost odhalení nástrojem řízení návrhu produktu	Známka hodnocení	Pravděpodobnost odhalení
Žádná možnost detekce	Žádný nástroj řízení stávajícího návrhu produktu; nelze odhalit nebo není analyzováno.	10	Téměř nemožná
V žádné etapě není pravděpodobná možnost detekce	Analýza návrhu produktu/nástroje řízení detekce mají slabou detekční způsobilost; virtuální analýza (např. CAE, FEA atd.) není v korelaci s očekávanými skutečnými provozními podmínkami.	9	Velmi mizivá
Po zmrazení návrhu produktu a před zahájením (zkoušek)	Ověřování/validace produktu po zmrazení návrhu produktu a před zahájením zkoušení vyhověl/nevyhověl.	8	Mizivá
	Ověřování/validace produktu po zmrazení návrhu produktu a před zahájením zkoušek do poruchy.	7	Velmi malá
	Ověřování/validace produktu po zmrazení návrhu produktu a před zahájením zkoušek na zhoršování vlastností.	6	Malá
Před zmrazením návrhu produktu	Validace produktu (zkoušení bezporuchovosti, vývojové nebo validační testy) před zmrazením návrhu produktu s využitím zkoušení vyhověl/nevyhověl.	5	Střední
	Validace produktu (zkoušení bezporuchovosti, vývojové nebo validační testy) před zmrazením návrhu produktu s využitím zkoušky do poruchy.	4	Středně velká
	Validace produktu (zkoušení bezporuchovosti, vývojové nebo validační testy) před zmrazením návrhu produktu s využitím zkoušek na zhoršování vlastností.	3	Velká
Virtuální analýza – korelovaná	Analýza návrhu produktu/nástroje řízení detekce mají silnou detekční způsobilost. Virtuální analýza (např. CAE, FEA atd.) je před zmrazením návrhu produktu v pevném vztahu se skutečnými nebo očekávanými provozními podmínkami.	2	Velmi velká
Detekci nelze použít; prevence poruchy	Příčina poruchy nebo způsob poruchy nemohou nastat, protože se jim ve velké míře předchází formou řešení návrhu produktu (např. osvědčené návrhové standardní podmínky, nejlepší praktiky nebo běžné materiály atd.).	1	Téměř jistá

Tabulka DFMEA – Zámková lopatka 1. část

Číslo FMEA: 0012016
 Strana 1 celkem z 2
 Vypracoval: Bc. Marek Jedlička, VUT FP
 Datum vypracování FMEA (orig.): 13. 5. 2016

Odpovědnost za návrh produktu: -
 Rozhodné datum: 19. 4. 2016

Komponent: Zámková lopatka
 Rok výroby modelu/program: 2016
 Řešitelský tým: Marek Jedlička, Petr Blaha

Funkce	Možný způsob poruchy	Možné důsledky poruchy	Závažnost	Klasifikace	Možné příčiny poruchy	Stávající návrh				RPN	Doporučené opatření	Odpovídá & Termín dokončení	Výsledek opatření			
						Nástroje řízení Prevence	Výskyt	Nástroje řízení Detekce	Odhalení				Přijaté opatření Datum dokončení	Závažnost	Výskyt	Odhalení
Uzavírá lopatkovou řadu	Špatně uzavírá lopatkovou řadu	Vyklonění lopatky	7	-	Licování dosedacích ploch Drsnost dosedacích ploch Nevhodný materiál	Měřicí přístroj WENZEL	1	Rozebrání a přeměření všech lopatek řady	5	35						
						Drsnoměr	1	Rozebrání a přeměření všech lopatek řady	5	35						
						Výstupní kontrola dodavatele	1	Rozebrání a přeměření všech lopatek řady	5	35						
	Destrukce lopatky		9	-	Licování dosedacích ploch Drsnost dosedacích ploch Nevhodný materiál	Měřicí přístroj WENZEL	1	Rozebrání a přeměření všech lopatek řady	5	45						
						Drsnoměr	1	Rozebrání a přeměření všech lopatek řady	5	45						
						Výstupní kontrola dodavatele	1	Rozebrání a přeměření všech lopatek řady	5	45						
a	b	c	d	e	f	h	g	h	i	j	k	l	m	-n-		

Tabulka DFMEA – Zámková lopatka 2. část

Číslo FMEA: 0012016
 Strana 2 celkem z 2
 Vypracoval: Bc. Marek Jedlička, VUT FP
 Datum vypracování FMEA (orig.): 13. 5. 2016

Odpovědnost za návrh produktu: -
 Rozhodné datum: 19. 4. 2016

Komponent: Zámková lopatka
 Rok výroby modelu/program: 2016
 Řešitelský tým: Marek Jedlička, Petr Blaha

Funkce	Možný způsob poruchy	Možné důsledky poruchy	Závažnost	Klasifikace	Možné příčiny poruchy	Stávající návrh					RPN	Doporučené opatření	Odpovídá & Termín dokončení	Výsledek opatření				
						Nástroje řízení Prevence	Výskyt	Nástroje řízení Detekce	Odhalení	Přijatá opatření Datum dokončení				Závažnost	Výskyt	Odhalení	RPN	
Umožňuje výměnu lopatek	Neumožňuje výměnu lopatek	Odstavení rotoru	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zajišťuje požadované výstupní parametry média & Převádí tepelnou energii na mechanickou	Špatně zajišťuje požadované výstupní parametry média Špatně převádí tepelnou energii na mechanickou	Zvýšení vibrací rotoru	7	-	Nesprávný úhel listu lopatky vůči jejímu závěsu	Měřicí přístroj WENZEL	1	Nelze detekovat	9	63	-	-	-	-	-	-	-	-
a	b	c	d	e	f	h	g	h	i	j	k	l	m	-n-				

Tabulka DFMEA – Závítové šrouby

Číslo FMEA: 0022016
 Strana 1 celkem z 1
 Vypracoval: Bc. Marek Jedlička, VUT FP
 Datum vypracování FMEA (orig.): 13. 5. 2016

Odpovědnost za návrh produktu: -
 Rozhodné datum: 19. 4. 2016

Komponent: Závítové šrouby
 Rok výroby modelu/program: 2016
 Řešitelský tým: Marek Jedlička, Petr Blaha

Funkce	Možný způsob poruchy	Možné důsledky poruchy	Závažnost	Klasifikace	Možné příčiny poruchy	Stávající návrh				RPN	Doporučené opatření	Odpovídá & Termín dokončení	Výsledek opatření			
						Nástroje řízení Prevence	Výskyt	Nástroje řízení Detekce	Odhalení				Přijaté opatření Datum dokončení	Závažnost	Výskyt	Odhalení
Zajišťují správnou polohu zámkové lopatky & Nesou část odstředivých sil	Nezajišťují správnou polohu zámkové lopatky	Vyklonění lopatky	7	-	Nedostatečná délka šroubu	Konečná rozměrová kontrola	1	Rozebrání a přeměření celé lopatkové řady	5	35						
						Konečná rozměrová kontrola	1	Rozebrání a přeměření celé lopatkové řady	5	35						
		Destrukce lopatky	9	-	Nedostatečná délka šroubu	Konečná rozměrová kontrola	1	Rozebrání a přeměření celé lopatkové řady	5	45						
						Konečná rozměrová kontrola	1	Rozebrání a přeměření celé lopatkové řady	5	45						
Umožňuje výměnu lopatek	Neumožňuje výměnu lopatek	Odstavení rotoru	8	-	-	-	-	-	-	-						
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	-n-			

Tabulka DFMEA – Závity

Číslo FMEA: 0032016
Strana 1 celkem z 1
Vypracoval: Bc. Marek Jedlička, VUT FP
Datum vypracování FMEA (orig.): 13. 5. 2016

Odpovědnost za návrh produktu: -
Rozhodné datum: 19. 4. 2016

Komponent: Závity
Rok výroby modelu/program: 2016
Řešitelský tým: Marek Jedlička, Petr Blaha

Funkce	Možný způsob poruchy	Možné důsledky poruchy	Závažnost	Klasifikace	Možné příčiny poruchy	Stávající návrh				RPN	Doporučené opatření	Odpovídá & Termín dokončení	Výsledek opatření			
						Nástroje řízení Prevence	Výskyt	Nástroje řízení Detekce	Odhalení				Přijaté opatření Datum dokončení	Závažnost	Výskyt	Odhalení
Nesou část odstředivých sil	Nenesou část odstředivých sil	Vyklonění lopatky	7	-	Zvýšené vůle závitových ploch	Konečná rozměrová kontrola	1	Rozebrání a přeměření celé lopatkové řady	5	35						
		Destrukce lopatky	9	-	Zvýšené vůle závitových ploch	Konečná rozměrová kontrola	1	Rozebrání a přeměření celé lopatkové řady	5	45						
Umožňují výměnu lopatek	Neumožňují výměnu lopatek	Odstavení rotoru	8	-	Výměna lopatek již byla provedena	Neexistuje	9	Rozhovor se zákazníkem Záznamy o výměnách	1	72						
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	-n-			